مدخل هندسة الاساسات



د.محمد إمحمد شاهين

مدخل هندسة الاساسات
د.محمد إمحمد شاهين

مدخل هندسة الأساسات

عنوان الكتاب: مدخل هندسة الأساسات
تأليف: د. محمد إمحمد شاهين
رقم الإيداع: 2009/965
ردمك: ISBN: 978-9959-55-071-2

الطبعة الأولى
2010 مسيحي

منشورات
جامعة 7 أكتوبر
الإدارة العامة للمكتبات والمطبوعات والنشر
هاتف: 2627201 - 2627202 - 2627203- 2620648
فاكس: 051/2627350
ص.ب: 2478 - مصراته - الجماهيرية العظمى
الموقع الإلكتروني: www.7ou.edu.ly
البريد الإلكتروني: info@7ou.edu.ly

تم تخصيص الرقم الدولي الموحد للكتاب من قِبل:
الوكالة الليبية للترقيم الدولي الموحد للكتاب
دار الكتب الوطنية - بنغازي - ليبيا
هاتف: 9097074 - 9096379 - 9090509
بريد مصور: 9097073
البريد الإلكتروني: nat_lib_libya@hotmail.com

مدخل هندسة الأساسات

INTRODUCTION TO FOUNDATION ENGINEERING

تأليف

د. محمد إمحمد شاهين

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ قَالُوا سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا عَلَّمْتَنَا إِنَّكَ أَنْتَ الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ ﴾

صدق الله العظيم

سورة البقرة ، الآية (31 ، 32)

الإهداء

إلى أول صورة رأتها عيناي وأول كلمة همست بها
شفتاي إلى من عشت في كنف حبها و حنانها و كان
رضاءها في الحياة و دعائها نوراً لي في طريقي
" أمي الحبيبة "

إلى اللذين تحملوا معي أعباء الحياة حلوها ومرها
"زوجتي وأبنائي"

إلى زملائي ورفاقي والطلاب في قسم الهندسة المدنية
يسرني أن أقدم هذا العمل المتواضع لعله يساهم في نقل
جزء من المعرفة إلى الطلبة والمهندسين

المؤلف

المحتويات

فهرس الأشكال

الشكل	الصفحة

فهرس الجداول

الجدول **الصفحة**

الشكر والتقدير

الحمد للّه رب العالمين والصلاة والسلام على سيدنا محمد الصادق الأمين وعلى آله وصحبه أجمعين، فالشكر للّه وحده الذي وفقني لإعداد هذا الكتاب العلمي المتواضع.

وفي الوقت الذي استكملت فيه هذا الكتاب، فإنني أتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الأخت سمية صالح التي قامت بطباعة جزء كبير من محتويات هذا الكتاب، كذلك فإنني أخص بالشكر المهندس عبد العاطي سباطة والمهندس رمضان سليم اللذان ساهما في أعداد بعض الرسومات بهذا الكتاب.

و أخيرا لا يسعنا إلا أن نتقدم بوافر الشكر إلى كل من ساهم في إعداد هذا الكتاب ولو بكلمة تشجيع.

تقديم

يتناول هذا الكتاب الجانب النظري لمواضيع هامة بميكانيكا التربة وهندسة الأساسات، ليكون مدخلاً لدراسة متقدمة بهذا المجال.

يشتمل الفصل الأول على المقدمة التي تعطي شرح مختصر حول أهمية دراسة الأساسات من قبل طلبة أقسام الهندسة المدنية بالكليات والمعاهد العليا الهندسية، كما يسلط الضوء على أهمية الأساسات وأعراضها والخطوات الواجب أتباعها لتصميم الأساسات، وكذلك الاعتبارات الإضافية للأساسات مع توضيح لفظ المهندس الجيوتقني أو مهندس الأساسات.

بينما، يتناول الفصل الثاني بالشرح المختصر للنواقص والأخطاء التي قد تحدث أثناء تصميم وتنفيذ الأساسات، إلى جانب بعض التعريفات المهمة في هذا المجال.

كذلك يتناول الفصل الثالث برنامج الاستكشاف لموقع الإنشاء والمعلومات التي يعتمد عليها، إضافة إلى تناوله بعض طرق الاستكشاف وتحضير برنامجه ومراحله بصورة مختصرة.

في حين أن الفصل الرابع يتناول الظروف الهندسية والجيولوجية للقواعد الطبيعية وخواصها، حيث يتم تسليط الضوء على أنواع طبقات التربة واختيار عمق إرساء الأساسات، إلى جانب التعريج على العوامل والظروف المؤثرة عليه.

أما الفصل الخامس فإنه يتطرق للأساسات السطحية من حيث اختيار الأساس السطحي وعمق التأسيس وأنواع الأساسات السطحية والسلوك العام لها.

كما الفصل السادس يوضح التشوهات المختلفة للإنشاءات وأنواع هبوطها والهبوط المدمر المسبب للانهيار.

وأخيراً... فإن الفصل السابع يقدم شرح مختصر حول الأوتاد التي تمثل أهم أنواع الأساسات العميقة وأكثرها استخداماً.

الفصل الأول

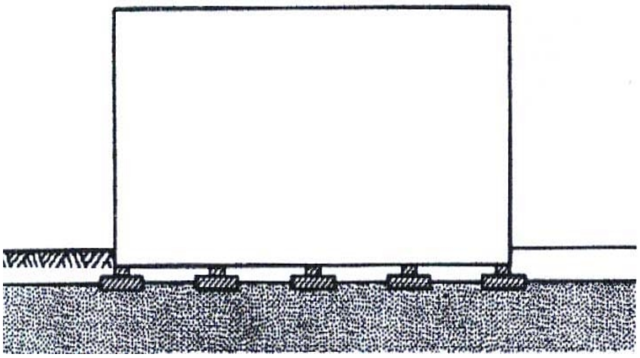
المقدمة

1-1 مقدمة Introduction

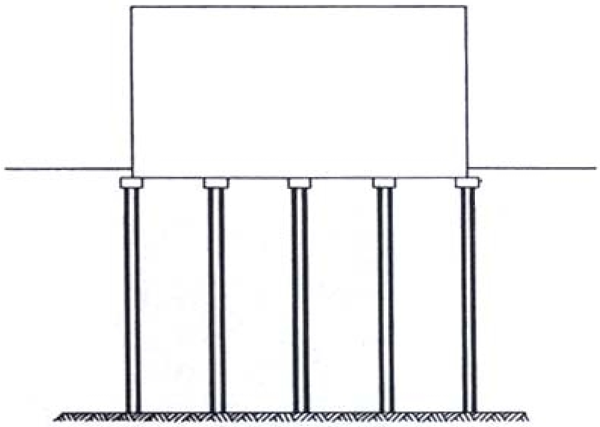
جميع منشآت الهندسة المدنية كالمباني والجسور والطرق والأنفاق والأبراج والحوائط والقنوات والسدود، يتم إنشائها إما تحت سطح الأرض أو أعلاه، كما يجب أن يكون هناك أساس مناسب لكل منشأ.

فعندما تكون التربة القوية المتماسكة قريبة من سطح الأرض، فإنه يتم نقل أحمال المبنى عبر الأعمدة أو الحوائط إلى التربة بواسطة الأساسات السطحية المنتشرة أسفل المنشأ كما بالشكل (1). وقد أُستخدمت المواد الخشبية والمعدنية لإنشاء الأساسات منذ عدة عقود، بينما قي الوقت الحاضر، أصبحت الخرسانة المسلحة المادة الأساسية في تنفيذ الأساسات.

عندما تكون طبقات التربة المتماسكة ليست قريبة من سطح الأرض، فإن نقل أحمال المنشأ إلى الأرض يتم عن طريق أعضاء رأسية كالأوتاد المبينة بالشكل (2) أو القيسونات والدعائم.



الشكل (1) مبنى يرتكز على أساسات سطحية



الشكل (2) مبنى يرتكز على أوتاد

2-1 أهمية دراسة الأساسات Importance of Foundation Study

إن اهتمام المهندسين بدراسة للقواعد والأساسات، يساعد في التطبيق العلمي على تجنب حدوث التصدعات أو الانهيارات بمختلف المنشآت، فإن المنهاج الدراسي يوضح ويشرح أحدث الطرق لحساب وتصميم الأساسات ومعرفة الأساليب التحليلية للتنبؤ بسلوك القواعد الترابية.

ففي عقد الثلاثينات من القرن الماضي، أوضح العالم المتخصص في علم الأساسات الأستاذ دموخوفسكي، بأن السبب الرئيسي لتشقق وتصدع وانهيار الأساسات، يتمثل في مختلف النواقص والأخطاء المرتكبة عند تصميم الأساسات.

لذلك فإن الأخطاء التي تحدث في تنفيذ الأساسات مردها لعدم الاهتمام الكافي بهذا المجال الهندسي، إلى جانب عدم الاستعمال والاستخدام الأمثل للمعطيات والمواصفات الهندسية الوطنية والأجنبية المتوفرة في التطبيق العملي لبناء الأساسات.

إن تكاليف إعادة بناء أو تعديل الأساسات وتصحيح الأخطاء المرتكبة أثناء أعداد التصاميم، تكون عادة أكبر بكثير من التكاليف الأصلية للأساسات، وفي كثير من الأحيان يصعب إعادة يناء أو تعديل الأساسات إن لم يكن ذلك من المستحيلات.

لذلك فإنه عند تنفيذ الأساسات، يتوجب علينا أن لا نقتصد في الجهد والمال، لأن الرغبة في الاقتصاد عادةً ما تكون وهماً، وغالباً ما تؤدي إلى إنفاق مبالغ مالية باهظة للترميم وإعادة البناء، فاستخدامنا للمعطيات العلمية والتقنية الحديثة تساعدنا على تأمين مقاومة ومتانة الأساسات، وكذلك على الاقتصاد في تكاليف إنشائها.

يُعتبر بناء الأساسات، بمثابة فن وعلم قائم على أساس المعطيات العلمية لميكانيكا التربة، وبالتالي تحولت الأساسات تدريجياً في الوقت الحاضر إلى فرع دقيق من فروع الهندسية الإنشائية.

إن معظم تصاميم الأساسات المستخدمة في الماضي، عادة ما تكون مبنية على الحس الهندسي والخبرة العملية، ويمكن تحسين تصاميم الأساسات اعتماداً على نتائج الأبحاث العلمية التي تم التحقق من صحتها في التطبيق العملي.

و لتصميم الأساسات فإنه يتوجب أتباع الخطوات التالية:

1- توقيع الموقع وتحديد أماكن التحميل، حيث يتم توقع تقريبي للأحمال التي يمكن توفرها من قبل المالك، واعتماداً للموقع والنظام المعتمد للتحميل فإنه يتم أجراء

مسح شامل لتجميع المعلومات حول ذلك للتعرف على كيفية حل المشاكل المشابهة من قبل الآخرون.

2- الفحص البصري للموقع من الناحية الجيولوجية والتي يمكن التعرف من خلالها على مشاكل التصميم المتطلب أخذها في الاعتبار أثناء أعداد التصاميم أو إعطاء توصيات للتصميم، هذه الملاحظة البصرية ملحقة مبدئياً بالمعلومات المتحصل عليها من التربة.

3- يتم وضع برنامج الاستكشاف بناءً على ما تم استكشافه أو بناءً على ما وجد بالمرحلة الأولية، كذلك يتم إضافة مجموعة من الاختبارات الحقلية الضرورية وأية برنامج للاختبارات المعملية.

4- تحديد معاملات التصميم الضرورية بناءً على تكامل معلومات الاختبارات الحقلية والمعملية والمبادئ العلمية والقرار الهندسي.

ويمكن أن يشتمل العمل على تحليلات بالحاسوب بسيطة أو معقدة، فبالنسبة للمشاكل المعقدة يتم مقارنة البيانات الموصي بها مع الدراسات المنشورة أو تشغيل استشاري تقني أخر لإعطاء فكرة ونظرة على النتائج.

5- تصميم الأساسات باستخدام معاملات التربة المتحصل عليها في الفقرة 4، فالأساس يجب أن يكون اقتصادي ومن السهل تنفيذه بالعناصر الإنشائية المتوفرة، ويجب الأخذ في الاعتبار الدقة العملية والتنفيذ والتدريب المحلي والإنشاء.

كما يجب التفاعل والتعاون مع المختصين بهذا العمل المتمثلين في المالك والمهندسين والمصممين والمقاول، لذلك فإن النظام السفلي للمنشأ، المتمثل في الأساسات يجب ألا يكون مُصمم بإفراط بحيث تكون التكلفة عالية مع عدم إبقاء المنشأ في حالة الخطر عند اعتماد التصاميم وفي هذه الخطوة يمكن استخدام الحاسوب بتوسع أو عدم استخدامه البتة.

يتوجب على مهندس الأساسات أن يمتلك خبرة ومشاركة كافية في الخطوات الخمس السابقة، وغالباً ما تكون هناك شركة جيوتقنية مستقلة متخصصة في استكشاف واختبارات التربة وتصميم مواقع دفن النفايات وأعمال الردم والتحكم في تلوث الماء ...الخ.

وغالباً ما يُخصص أحد المهندسين الجيوتقنيين لعمل الخطوات من 1 إلى 4 والناتج من الخطوة 4 يُعطى للمالك.

عادةً ما يقوم مهندس الأساسات المتخصص في تصميم العناصر الإنشائية بإعداد التصاميم للنظام السفلي للمبنى.

وهكذا فإن مهندس الأساس والمستشار الجيوتقني يجب أن يعملا مع بعضهما البعض أو على الأقل لديهما اجتماعات ومؤتمرات متكررة لتقدم التصميم، ويجب أن يكون واضحاً بأن هذين الفرعين يحتاجا إلى تقريب المشاكل لكل منهما، وخاصة المهندس المُصمم للأساس الذي يجب عليه أن يُدرك الطرق التقريبية المستخدمة لإيجاد معاملات التربة التي تم استخدامها.

وأخيراً فإن النظرة المبدئية لهذا النص تكون حول تحليل وتصميم عناصر توصيل الأحمال للمباني والآلات والحوائط الساندة، وعلى ذلك فإنه يتم استخدام أساسيات ميكانيكا التربة، للحصول على معاملات التربة الضرورية والمطلوبة لتنفيـذ التصميم، والعناصر المحددة للأساسات تشمل العناصر السطحية مثل القواعد المنفصلة والمركبة والشريطية والحصيرة، وكذلك العناصر العميقة المتمثلة في الأوتاد والقيسونات إلى جانب الحوائط الساندة.

الفصل الثاني

النواقص والأخطـاء

1-2 أهمـية الأساسات وأغراضها Importance and Purpose of Foundation

يُعتبر الأساس جزء من نظام هندسي ينقل إلى وخلال طبقات التربة والصخور الإجهادات الناجمة عن الأوزان والأحمال المرتكزة عليه.

وتعبير الهيكل العلوي (Superstructure) عادةً ما يُستخدم لوصف الجزء الهندسي من النظام الذي ينقل الحمل إلى الأساس أو إلى الجزء السفلي من المنشأ والذي يُعرف بالتركيب الثانوي (Substructure).

على أية حال فإن الأساس يمكن أن يحمل الآلات والمعدات الصناعية مثل الأنابيب والأبراج والخزانات، ومن الأفضل أن يوصف الأساس على أنه جزء من النظام الهندسي الذي يقوم بنقل مكونات الأوزان إلى الأرض، لذلك فإنه واضح وجلي بأن الأساس يُعتبر أهم جزء في النظام الهندسي.

2-2 الاعتبارات الإضافية للأساسات Foundation additional consideration

هناك بعض الاعتبارات الإضافية التي يمكن أخذها في الاعتبار عند مواقع معينة ومن هذه الاعتبارات:

أ- يجب أن يكون عمق التأسيس مناسب لتفادي العصر الجانبي للمواد من تحت الأساسات السطحية، وكذلك يجب الأخذ في الاعتبار الحفر للأساسات بالمواقع

المجاورة للمباني القائمة، وهناك بعض الاحتياطات التي يجب تنفيذها، وكذلك بعض التشققات الناجمة عن الهبوط يتم الحصول عليها من قبل مالكي المباني القائمة.

ب- يجب أن يكون عمق التأسيس أسفل منطقة التذبذب الفصلي للمياه المتسببة في تجمد الماء، ومعظم الكودات المحلية للمباني تشتمل على أدنى عمق مطلوب.

ج- بالإضافة لاعتبارات قوة التكثيف، فإن نظام الأساسات يجب أن يكون آمن ضد الدوران والانزلاق، وكذلك لأي ارتفاع أو تعويم قد يحدث.

د- نظام الأساسات يجب أن يكون محمي ضد التآكل والتدهور بالنسبة للمواد الضارة الموجودة بالتربة، ويجب الاهتمام بالأمان خاصةً في حالة مواقع دفن النفايات والمناطق البحرية وبعض المواقع الأخرى حيثما توجد العناصر الكيميائية والتي يمكن أن تسبب التآكل للأوتاد وتحطم الألواح الخشبية والحديدية.

هـ- يجب أن يكون نظام الأساس مناسب لتحمل بعض التغيرات المستقبلية في الموقع أو في هندسة البناء، وكذلك تكون سهلة التعديل للتغييرات في الهيكل السفلي للمنشأ ويصبح التحميل ضرورياً.

و- يتم بناء الأساسات عن طريق موظفو البناء المتوفرون.

3-2 مهندس الأساسات Foundation Engineer

لفظ مهندس الأساسات يُطلق على الشخص المثقف الذي تحصل على ما فيه الكفاية من التدريب والخبرة في المبادئ العلمية والقرار الهندسي لتصميم الأساسات وغالباً ما يُعبر عنه بالفن، ويمكننا القول بأن القرار الهندسي يُعتبر الجزء المُبدع من عملية التصميم.

المبادئ العلمية الضرورية لمهندس الأساسات يتم اكتسابها من خلال دروس

تعليمية في الهندسة الجيوتقنية والتي تشمل كلاً من ميكانيكا التربة والجيولوجيا والأساسات الهندسية، وكذلك دروس في الهندسة الإنشائية والتي تتمثل في تحليل التصميم في الخرسانة المسلحة والمنشآت الحديدية، إلى جانب مواصلة الدراسة عن طريق حضور دورات قصيرة وحضور مؤتمرات وندوات مهنية وعلمية وقراءة المجلات العلمية.

4-2 النواقص والأخطاء أثناء تصميم وتنفيذ الأساسات

هناك العديد من النواقص والأخطاء التي عادة ما تحدث عند تصميم وتنفيذ الأساسات، والتي تتمثل في الأتي:

أولا- أخطاء ونواقـص في المعلومات عن التركيب الجيولوجي لموقع الأرض المخصصة للبنـاء.

تضم هذه المجموعة من الأخطاء ما يلي:

أ- عدم توفر معطيات جيولوجية ومعطيات حول المياه الجوفية لموقع المنشأ، حيث أنه في كثير من الأحيان يتم تصميم الأساسات بدون معطيات جيولوجية تتعلق بتربة الموقع.

ب- عدم الدقة في تحديد سمك طبقات التربة، الأمر الذي يؤدي إلى وقوع المُصممين في الخطأ، وبالتالي يجرهم إلى إعداد تصاميم غير مبرهنة علمياً.

ج- عدم توفر المُعطيات المتعلقة بسلوك التربة وخواص مقاومتها، مما يؤدي إلى قصور في استخدام الحلول النظرية المتوفرة ويجعل تقدير وضعية القواعد بصورة خاطئة.

ثانيا- أخطاء أثنـاء إعداد تصاميم الأساسات.

أخطاء هذه المجموعة تتمثل في الأتي:

أ- الأخطاء الحسابية التي كثيراً ما تحدث أثناء تصميم الأساسات.

ب- عدم الأخذ في الاعتبار تغير خواص التربة أثناء استخدام الإنشاءات مثل:

1- التعرية والانجراف بفعل الماء للطبقات الحاملة في التربة.

2- إزالة التربة المحيطة بالأساسات.

3- انتفاخ التربة عند التجمد.

4- تغير خواص التربة بفعل الاهتزازات.

5- الرطوبة الإضافية للتربة.

6- عدم الأخذ في الاعتبار الفعل المتبادل لهذه الأساسات مع التربة.

7- عدم الأخذ في الاعتبار سلوك التربة أو عملها الموحد تحت تأثير الأحمال.

ثالثاً- رداءة أعمال الحفر وبناء الأساسات.

تتمثل أخطاء هذه المجموعة في الأتي:

1- رداءة تصريف المياه، المتسببة في تصدع الأساسات.

2-عدم الاهتمام بمتانة ومقاومة الأسوار الواقية لحفر الأساسات.

3-الإخلال ببنية التربة نتيجة استعمال معدات الحفر وعربات النقل.

4-رداءة أعمال الأساسات وخاصة أعمال الخرسانة.

رابعاً- عدم الأخذ في الاعتبار التصدعات والأضرار المحتملة بفعل الكوارث الطبيعية.

تضم هذه المجموعة الأخطاء المؤدية إلى الإخلال بمقاومة واستقرار الأساسات بسبب الكوارث الطبيعية المتمثلة في: الفيضانات والانجرافات بسبب السيول والهزات الأرضية وغيرها.

لتجنب تأثير هذه الكوارث يتم اختيار الموقع المناسب للبناء مع استخدام التصاميم المقاومة للهزات الأرضية والزلازل إضافة إلى إنشاء سدود حاجزة للتأثيرات المائية.

5-2 تعريفات Definitions

1- تُعرف قاعدة الإنشاء على أنها عبارة عن سمك طبقية التربة أو الصخور الطبيعية، التي تقاوم الأحمال المؤثرة عليها وتتبادل فعل الالتحام مع أساسات الإنشاءات المقامة عليها، ويتوجب علينا تمييز القواعد الصخرية الصلدة عن الرخوة وتشمل القواعد المتكونة من فتات الصخور، القواعد الرملية والقواعد الطينية.

2- تُعرف القواعد الصخرية الصلدة على أنها عبارة عن كتل من الصخور المصمتة سواءً كانت صخور نارية أو متحولة أو رسوبية ملتحمة وملتصقة برباط جاسئ وصلب رابط بين حبيبات الصخر، التي توجد على هيئة كتلة صخرية مصمتة أو على هيئة طبقات صخرية تحتوي على شروخ وشقوق.

تتميز القواعد الصخرية الصلدة بمقاومة قصوى عالية في حالة الانضغاط (تزيد على50 كجم/ سم^2) وتشوهات القواعد الصخرية الصلدة الناجمة عن تأثير عمل الإنشاءات تكون غير كبيرة بصورة عامة.

وحيث أن الإنشاءات تقام عادة على طبقات قوية ومستقرة من الصخور الصلدة، لذلك فإنه لاختيار مستوى إرساء قواعد الإنشاءات يعتمد على عاملين مهمين هما:

أ- عمق تراصف طبقات الصخور الصلدة.

ب- قابلية تشقق وتفتت الصخور.

3- تُعرف القواعد الصخرية الرخوة على أنها عبارة عن مجموعة طبقات صخرية

رخوة متمثلة في طبقات من التربة غير المترابطة تتكون من مكونات معدنية طبيعية مشتتة على هيئة فتات بدون وجود تلاحم جاسئ بين الدقائق أو الجسيمات المعدنية.

وتتألف القواعد الترابية من ترسبات التربة المفتتة تفتيتاً خشناً وهي ما يُعرف بالتربة الرملية، إضافة للتربة الطينية والتربة الغرينية.

وعند تنفيذ الإنشاءات فإن القواعد تتطلب اهتماماً كبيراً جداً، لقابليتها لتشوه أكبر بالمقارنة مع مواد البناء التي تُستخدم في إنشاء الإنشاءات (مثل الخرسانة والأحجار وغيرها من مواد البناء).

4- القواعد الطبيعية وهي قواعد الإنشاءات المتكونة من التربة الطبيعية أو الصخور الصلدة في ظروف الطبيعة أو الصخور الصلدة، في ظروف تطبقها الطبيعي.

5- القواعد المُحسنة وهي القواعد التي تم توطيدها وتعزيزها أو تقويتها بإحدى طرق تحسين التربة، وعند استخدام طبقات التربة على أنها قواعد طبيعية للإنشاءات تكون لسمك الطبقات السطحية أهمية متميزة وهي الطبقات المعرضة لتأثير العمليات الخاصة بالأحياء المجهرية والتي تشتمل على كمية كبيرة من المواد العضوية التي تتحول بسرعة إلى مواد معدنية عند دخول الهواء، وكذلك هناك أهمية لعمق تجمد التربة، أي سمك الطبقات العليا من التربة الغير مستقرة التي تتغير خواصها الطبيعية والميكانيكية تغيراً موسمياً، وبالتالي لا يُسمح بإنشاء الإنشاءات أو المباني الرئيسية على تربة متجمدة.

6- الأساسات هي الأجزاء الواقعة منها أسفل الإنشاءات تحت سطح الأرض أو تحت الماء المقامة على قواعد طبيعية أو قواعد مُحسنة صناعياً، حيث تُستخدم الأساسات لنقل الأحمال من الإنشاءات إلى القواعد الترابية أو القواعد الصخرية.

وعند تصميم أساسات المباني والإنشاءات وفقاً لمعطيات الأبحاث الهندسية

والجيولوجية والمواصفات المحلية والدولية، واعتماداً على نتائج الاختبارات الحقلية والمعملية المحددة للخواص الميكانيكية للتربة، والخواص التصميمية للإنشاء يجب أتباع الخطوات التالية:

أ- تحديد عمق التأسيس للأساسات بناً على التركيب الجيولوجي لموقع البناء وخواص التربة ومنسوب المياه الجوفية ومنسوب خط التجمد والذوبان الموسمي للتربة في المناطق الباردة.

ب- التقدير الصحيح لقدرة التحميل للقواعد الترابية ومدى استقرارها عند تعرضها للأحمال الإنشائية.

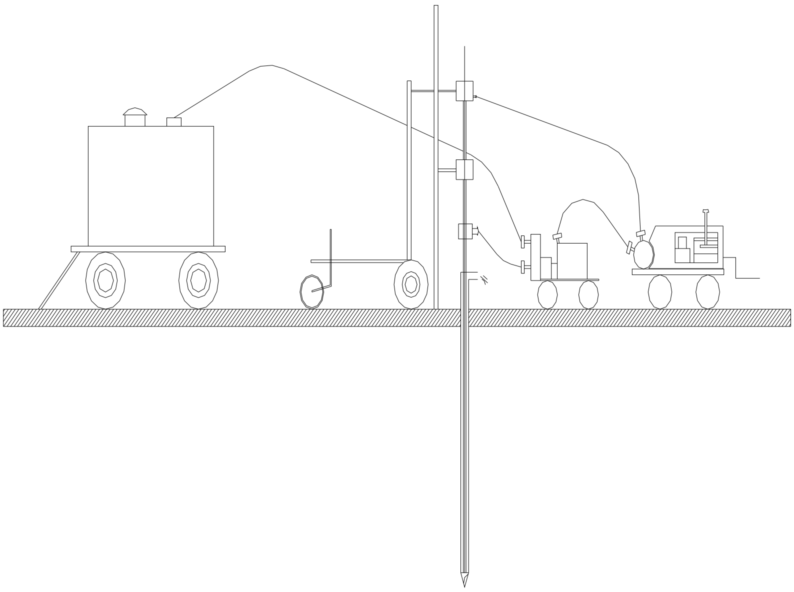
ج- تحديد نوع الأساسات وتصميمها وتعيين أبعادها، بحيث تكون قيم الهبوط عند تعرضها لتأثير الأحمال الإنشائية، أقل من قيم الهبوط القصوى للإنشاء أو المبنى المعلوم.

د- تأمين مقاومة الأساسات عن طريق سلوكها مع القواعد الصخرية والترابية القابلة للتشوه.

هـ- أثناء أعمال الحفر وأعمال الأساسات تؤخذ في الاعتبار خواص القواعد الترابية، لتفادي الإخلال بالتركيب الطبيعي للقواعد الترابية.

يُعرف إجهاد التحميل على أنه الإجهاد الفعلي المُسلط على التربة، وعادة ما تؤخذ قدرة التحميل المسموح به بإجهاد التحميل المسبب لانهيار القص المحلي.

الشكل (3) يبين طريقة الجس بماسورة العينات للكشف على قوة جهد تربة التأسيس.



الشكل (3) طريقة الجس بماسورة العينات للكشف على قوة جهد تربة التأسيس

الفصل الثالث

استكشـاف المـوقع

1-3 مقدمة Introduction

لتصميم المنشآت فإنه يتوجب على المهندسين استكشاف موقع التنفيذ وتحديد خواص التربة، وذلك بإجراء الاختبارات الحقلية والمعملية المطلوبة لعينات من التربة تؤخذ من مواقع وأعماق مختلفة لموقع البناء يتم تحديدها من قبل المهندس الجيوتقني.

و يعتمد حجم العمل في استكشاف موقع الإنشاء على الأتي:

1- حجم المشروع
2- أهمية المشروع .
3- حالة الموقع والتربة
4- مدى التعقيد في خواص ونوع التربة.
5- الخبرة السابقة لمنشآت مماثلة ومشيدة على تربة مشابهة للمشروع قيد الدراسة.

في حالة المنشآت ذات الأوزان الخفيفة فإن حجم العمل قد يقتصر على الفحص البصري لعينات تؤخذ من خنادق مكشوفة أو من جسات بريمية وذلك في حالة المنشآت الخفيفة الصغيرة المؤسسة على تربة معروفة الخواص أو السابق التأسيس عليها.

أما في حالة المنشآت الخاصة وذات الاهتزازات والأبراج والمنشآت الثقيلة وأعمال الحفر العميق فإن استكشاف الموقع يشمل جسات عميقة مع دراسة مستفيضة واختبارات معملية وحقلية مفصلة.

2-3 المعلومات المطلوبة لاستكشاف موقع الإنشاء

Information Required for Site Investigation

عناصر الاستكشاف تعتمد إلى حد كبير على المشروع المراد تنفيذه، والذي يجب أن يشمل توفير ما يلي:

1- معلومات عن نوع الأساس، سطحي أو عميق.

2- معلومات كافية صحيحة تمكن المهندس الجيوتقني من تحديد قدرة تحمل التربة.

3- معلومات كافية لتقدير الهبوط.

4- معلومات عن المياه الجوفية وتذبذب منسوبها.

5- معلومات عن كيفية الحفر والسند.

6- معلومات لتصميم الستائر اللوحية وطرق نزح المياه.

7- معلومات عن المشاكل المحتملة مثل هبوط أو تشقق المنشآت المجاورة.

8- تحديد مشاكل التلوث والتأثير على البيئة المحيطة وطرق حلها.

المعلومات السابق سردها تكون ضرورية في حالة المنشآت المراد تشييدها على مساحة محددة أي في حالة التشييد الرأسي حيث تكون التكلفة لوحدة المساحات مرتفعة مثل المباني السكنية والإدارية والتجارية والأبراج، وكذلك فإن بعض هذه المعلومات تكون ضرورية أيضاً للمنشآت الممتدة أي في حالة التشييد الأفقي مثل الطرق والمطارات وخطوط المياه والصرف الصحي وخطوط الأنابيب والمنشآت المماثلة، وفي هذه الحالة يكون استكشاف الموقع ممتداً ومهماً لتحديد مناسيب المياه الجوفية ومناسيب طبقات الصخور ومواقع التربة الضعيفة ومواقع التربة المطلوب استخدامها في أعمال البناء.

3-3 **طرق استكشاف الموقع** Site Investigation Methods

أكثر الطرق انتشاراً لاستكشاف مواقع الإنشاء للتشييد الرأسي هي الجسات، وذلك بعمل ثقب في الأرض واستخراج عينات من التربة لفحصها واختبارها، وفي كثير من الأحيان تستخدم الجسات لاستكشاف المواقع في حالة التشييد الأفقي بالرغم من تكلفتها المرتفعة لامتداد المشروع.

بينما في حالة المساحات الكبيرة يكون التصوير الجوي مع حفر بعض الثقوب البسيطة والحفر السطحية أكثر اقتصاداً وأنسب للمشروعات الممتدة من الجسات التفصيلية، ويُفضل أن يكون التصوير الجوي ملوناً ليعطي معلومات كافية وواضحة عن التربة المستكشفة.

كذلك تستخدم الطرق الجيوفيزيائية في حالة الاستكشاف الممتد، بحيث يقتصر استخدامها على تحديد منسوب طبقات الصخور وطبقات التربة الزلطية أو الرملية ومنسوب المياه الجوفية.

وقد تكون العينات المجمعة يدوياً من الكثبان الرملية ومن المناطق المعرضة للنحر وفحصها بصرياً كافية قي كثيراً من الأحيان لإعطاء فكرة مبدئية عن نوع التربة وعن حجم العمل المطلوب لاستكشاف الموقع، ويُعطي اختبار التحميل معلومات كافية عن قدرة تحمل التربة وإن كانت تلك الاختبارات مرتفعة التكلفة.

ويعتبر نوع التربة من العوامل الهامة لتحديد طريقة ومنهاج الاستكشاف للوصول إلى أقصى فائدة من الاستكشاف اقتصادياً.

فالتربة المتجانسة يناسبها العينات غير المقلقلة المُستخرجة من جسات لإجراء اختبارات دقيقة عليها وحيث أن التربة متجانسة فإن عدد قليل من الجسات تمثل التربة تمثيلاً دقيقاً وعليه فالتكاليف الكلية تكون مقبولة. بينما لا تُعطي العينات غير المقلقلة المُستخرجة من جسات صورة حقيقية للتربة الشعثة وذلك لأنه من الضروري عمل عدد

كبير من الجسات لتمثيل التربة تمثيلاً كاملاً وعليه فالتكاليف تكون عالية، وبالتالي فالطرق الجيوفيزيائية أو التصوير الجوي مع عدد من الجسات لاستخراج عينات مقلقلة يُعطي معلومات كافية وتكون أكثر اقتصاداً من العينات غير المقلقلة.

4-3 تحضير برنامج الاستكشاف Preparation of Investigation Program

إن برنامج الاستكشاف يهدف إلى الأتي:

1- تحديد سمك ومنسوب وترتيب طبقات التربة.

2- تحديد خواص تلك الطبقات من حيث مقاومتها للقص والتشكل ونفاذيتها للماء.

5-3 مراحل برنامج الاستكشاف Steps of Investigation Program

تكون مراحل برنامج الاستكشاف كالتالي:

أ - تجميع المعلومات المتوفرة حول توزيع الأعمدة وأبعادها ونوع المنشأ والأغراض الخاصة باستخدام المبنى، أما بالنسبة للمنشآت الخاصة مثل الجسور والمنشآت المائية، فإن الأمر يتطلب دراسة تذبذب منسوب المياه الجوفية وأحمال الدعامات وأبعادها وتوزيعها.

ب - استكشاف المنطقة المخصصة للإنشاء والذي يشمل الأتي:

1- زيارات ميدانية لموقع الإنشاء أو باستخدام التصوير الجوي.

2- دراسة حالة المنشآت المنفذة بالمنطقة.

3- دراسة الخرائط الطبوغرافية للمنطقة.

4- دراسة أنابيب المياه والصرف الصحي وخطوط الكهرباء.

5- تحديد حالة المياه السطحية.

6- دراسة الجسات وتقارير التربة للمنشآت المشيدة سابقاً بالمنطقة.

7- دراسة مواد البناء المتوفرة بالمنطقة.

8- دراسة أماكن التربة الممكن نقلها للموقع.

ج- استكشاف ابتدائي ويكون ذلك كالتالي:

1- عمل عدد من الجسات لتحديد الاتجاه العام للطبقات ولتحديد منسوب سطح المياه الجوفية.

2- في حالة وجود طبقات سطحية ضعيفة أو قابلة للانضغاط، فإنه يُفضل الوصول بجسة واحدة على الأقل إلى الطبقة الصخرية أو الطبقات القوية.

تتطلب هذه المرحلة الحصول على المعلومات اللازمة لتحديد نوع ومنسوب التأسيس وخطوات الإنشاء.

د- استكشاف مفصل، حيث تُستكمل جميع المعلومات المطلوبة لكلٍّ من:

1- حساب الأساسات.

2- تجهيز الموقع.

3- خطوات الإنشاء.

4- تقدير مدى تأثير الحفر على المنشآت المجاورة.

اعتماداً على المعلومات المُتحصل عليها من المرحلة السابقة يجب أن تكون الجسات محددة الموقع، استناداً لشكل الأساسات وتوزيع الأعمدة، كما يجب عمل جسة للحصول على عينات لاختبارها معملياً في مواقع التربة الضعيفة التي قد تتواجد في الموقع وعند فواصل الصخور وفي أماكن الردم، ويجب عمل جسة عندما يتطلب التنفيذ ذلك حسبما يرى المنفذ.

الفصل الرابع

الظروف الهندسية والجيولوجية للقواعد الطبيعية وخواصها

1-4 مقدمة Introduction

إن الظروف الجيولوجية والجيولوجية المائية لموقع الإنشاء وخواص القواعد الصخرية والترابية الطبيعية أو ما يُعرف بطبقات التأسيس، لها الدور الأكبر في تحديد نظام أساسات المنشأ والمبني المُصمم إلى جانب تحديد عمق التأسيس.

لذلك فإنه يتطلب الحصول على المعلومات والمعطيات المتعلقة بالخواص الجيولوجية والجيولوجية المائية لموقع الإنشاء، والتي تشمل الخواص التصميمية للتربة وقيم الإجهادات والتشوهات في التربة بسبب الأوزان الإنشائية المسلطة عليها، وكذلك تقدير مقاومة وضغط التربة، إضافة إلى التعرف على طبوغرافية المنطقة للاعتماد عليها في أعداد تصاميم الأساسات.

ومن العوامل المهمة لتحديد الظروف الهندسية والجيولوجية لموقع الإنشاء، هي الظروف الجيولوجية المائية، حيث أنه من المهم معرفة أعلى وأدنى منسوب للمياه الجوفية واحتمال تغيرها عند تأسيس المنشآت، وبالتالي يتم أخدها في الاعتبار أثناء تصميم الأساسات.

وتُعطى أهمية خاصة للطبقات الترابية الرخوة والصخور الصلدة التي يتم التأسيس عليها، إلى جانب الاهتمام بطرق تحسين للتربة غير المستقرة.

لتفادي الإخلال ببنية التربة والمحافظة على خواصها الطبيعية أثناء القيام بأعمال الحفر وتنفيذ الأساسات، فإنه يتوجب على المهندسين اتخاذ بعض الإجراءات الخاصة.

2-4 أنــواع طبقــات التــربة Types of Soil Layers

وتكون أنواع بناء طبقات التربة كالتالي:

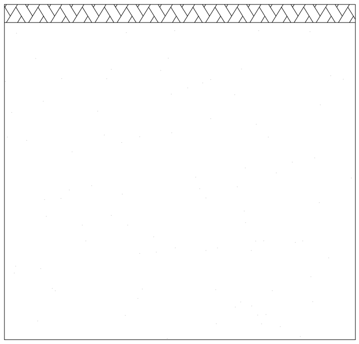
1- طبقات ترابية متجانسة، تؤثر على هبوط واستقرار الأساسات كما هو موضح بالشكل (4– أ).

2- طبقات ترابية رقائقية: تتميز هذه الطبقات بقابلية تشوه مختلفة وبمعاملات مقاومة مختلفة لتربة كل طبقة، وتشمل هذه المجموعة نوعين رئيسيين وهما:

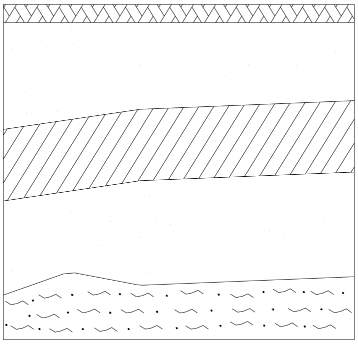
أولاً – طبقات رقائقية متوافقة حيث يعتمد عدم انتظام هبوط الأساسات المقامة عليها على اختلاف الأوزان المؤثرة على الأساسات وعلى حجم وشكل الأساسات كما هو موضح بالشكل (4 – ب).

ثانيا– طبقات ترابية مختلفة الانضغاط، مما يؤدي إلى حدوث هبوط غير منتظم للأساسات كما هو موضح بالشكل (4 – ج).

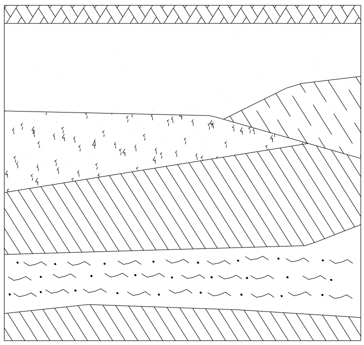
3- طبقات ترابية غير متجانسة من حيث عمق طبقات الصخور الصلدة غير المنضغطة، وكذلك من حيث خواص التربة التي تكون على هيئة طبقات بينية مستقلة عند وجود صخور دخيلة كما هو موضح بالشكل (4 – د) وهذه الحالة تعتبر من أسوأ الطبقات، والتي تتطلب دراسة جيدة لأعداد التصميم الآمن والاقتصادي.



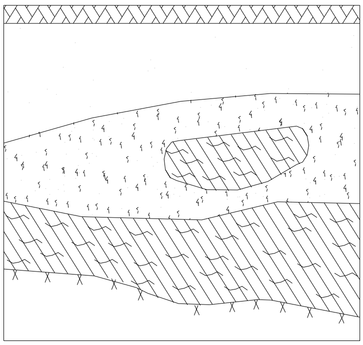
أ- طبقات متجانسـة



ب- طبقات رقائقية متناسقة



ج- طبقات رقائقية غير متناسقة



د- طبقات غير متجانسة

الشكل (4) مجموعة طبقات التربة

3-4 اختيار عمق إرساء الأساسات

أولاً- العوامل الرئيسية المؤثرة على عمـق إرساء الأساسات

في كثير من الأحيان، تقل تكاليف إنشاء الأساسات كلما ارتفع منسوب إرساء ها، وعند تحديد عمق الإرساء، فإنه يجب اختيار طبقة التربة الحاملة، والتي تتمكن من جعل

تطور الهبوط عند توطيد التربة لا يزيد عن القيمة القصوى المسموح بها، وأن تضمن عدم حدوث انحرافات في الأساسات، ولذلك تؤخذ في الاعتبار العوامل الرئيسية التالية:

1- الظروف الهندسية والجيولوجية لرقعة أو مساحة الإنشاء.

2- التأثيرات المناخية المؤثرة على الطبقات العليا من التربة.

3- خصائص الإنشاءات المُقامة والواقعة بجوار بعضها البعض.

ثانياً- الظروف الهندسية والجيولوجية لرقعة أو مساحة الإنشاء.

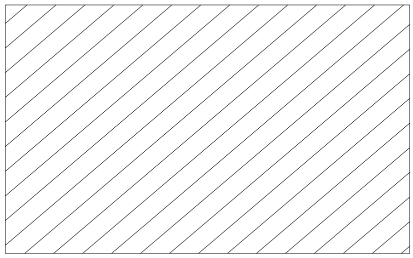
من المعروف بأن لكل موقع بناء خصائصه المميزة من ناحية نوعية طبقات التربة وترتيبها وتراصفها، وتقسم كافة أنواع التربة إلى صنفين هما:

أ- التربة الضعيفة أو الرخوة، والتي لا يمكن أن تُكون قاعدة متينة وأمنة لحمل المنشأ.

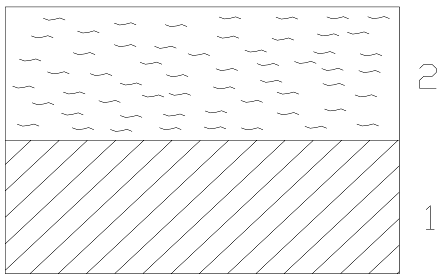
ب- التربة القوية المتماسكة أو المتينة، والتي تضمن البقاء الآمن والسليم للمنشأ.

الشكل (5-أ) يبين التربة المتينة المتجانسة التي يمكن أن تتكون من عدة طبقات مختلفة في خواص الانضغاطية ومقاومة القص، وفي هذه الحالة فإنه يتم اختيار أدنى عمق مسموح به لإرساء الأساسات، وفي كثير من الأحيان فإن الطبقة الحاملة هي الأكثر تماسكاً ومتانة كما بالشكل (6).

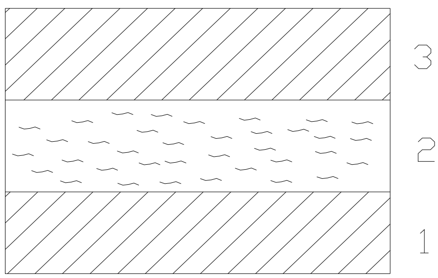
الشكل (5- ب) يوضح مجموعة طبقات التربة الرقائقية الواقعة على عدة طبقات من التربة الرخوة، في هذه الحالة يتم نقل تأثير الأحمال إلى طبقات التربة العالية الجودة باستخدام الأوتاد، ويمكن تأسيس المباني الخفيفة على أوتاد لنقل الأوزان إلى التربة الرخوة، كذلك يمكن توطيد وتقوية التربة مع تصريف المياه كما بالشكل (7).



(أ)



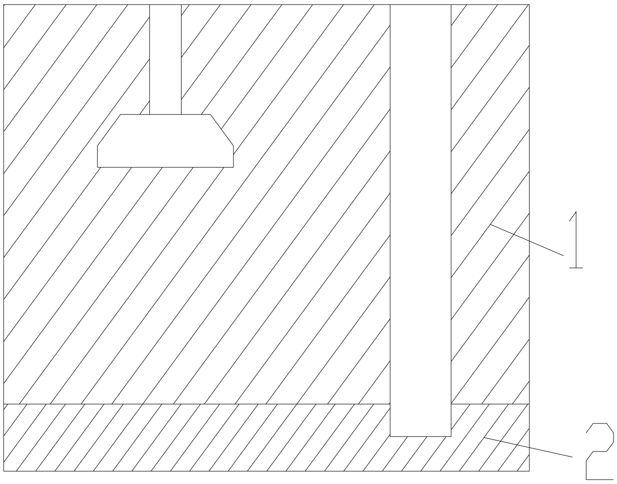
(ب)



(ج)

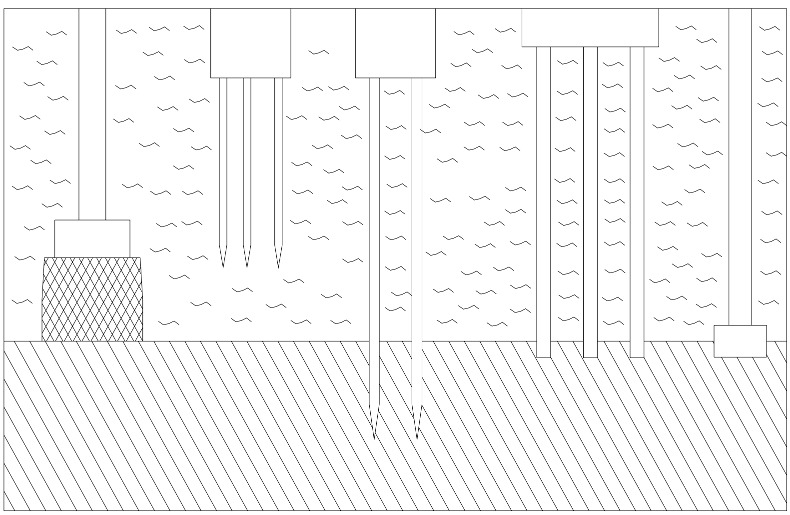
الشكل (5) الرسم التخطيطي لطبقية التربة

1- تربة متينة 2- تربة رخوة



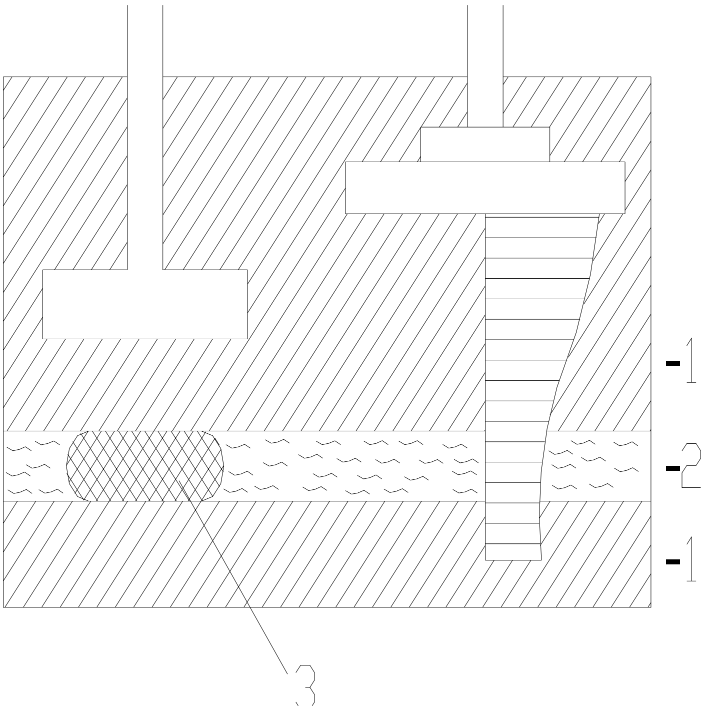
الشكل (6) عمق الإرساء عند مختلف نوعيات التربة المتينة

1- تربة متينة 2- تربة أكثر متانة



الشكل (7) عمق الإرساء لأنواع مختلفة من الأساسات والمنشآت

الشكل (5- ج) يوضح مجموعة طبقات التربة الرقائقية الواقعة على عدة طبقات من التربة الرخوة مع وجود طبقات من التربة المتينة أسفلها، في هذه الحالة يمكن استخدام طرق التأسيس كما بالشكل (8)، وذلك باستخدام الطبقة العليا من التربة المتينة لتوزيع الأحمال للمباني الخفيفة، أو تقوية طبقات التربة الرخوة.



الشكل (8) استخدام الطبقة العليا من التربة المتينة

ثالثاً- التأثيرات المناخية المؤثرة على الطبقات العليا من التربة

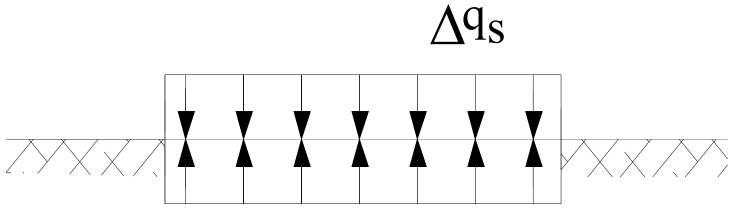
يتغير حجم الطبقات العليا للتربة بفعل التجمد والذوبان والجفاف والرطوبة، ففي المناطق التي يتفاوت بها الجفاف والمطر على مدار العام، يتم تحديد منطقة الانتفاخ للتربة الطينية في مناطق الرطوبة وحدوث الانكماش والتقلص في حالة الجفاف، حيث يتم اختيار عمق الإرساء أسفل هذه المناطق.

4-4 تشوهات الإنشاءات Structures Deformation

عند تطور هبوط القواعد فإن تشوهات الأساسات تختلف باختلاف جسأتها ومرونتها والتي تنقسم إلى:

أ- أساسات مطلقة المرونة Perfectly Flexible Foundations

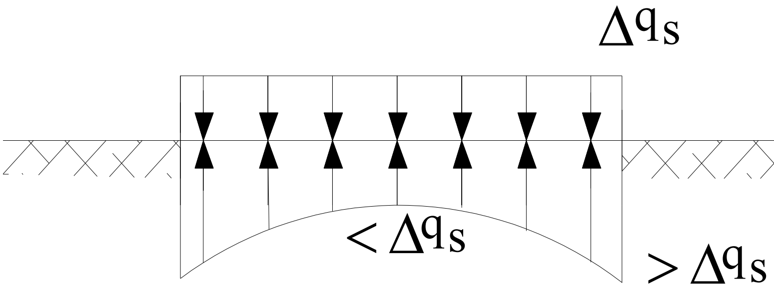
الضغط الناجم عن الأساسات مطلقة المرونة ذات الأحمال المتماثلة يتوزع طبقاً لنظرية المرونة، ويكون توزيع الضغط الملامس لسطح التربة متماثل كما بالشكل (9)، بينما هبوط هذه الأساسات دائماً ما يتبع هبوط وانحرافات سطح التربة الواقعة أسفلها.



الشكل (9) أساسات مطلقة المرونة

بـ أساسات محددة الجسوءة Finite Rigidity Foundations

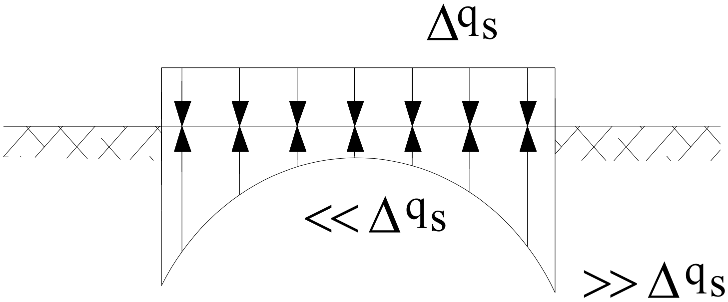
في هذا النوع من الأساسات يتم توزيع الضغط الملامس لسطح التربة بصورة متفاوتة كما بالشكل (10)، وعادة ما تتعرج وتنحني هذه الأساسات نتيجة لتطور الهبوط الغير منتظم ولا تتبع في جميع النقاط تشوهات وهبوط التربة المرتكزة عليها، بل أن الهبوط يعتمد على نوع التربة.



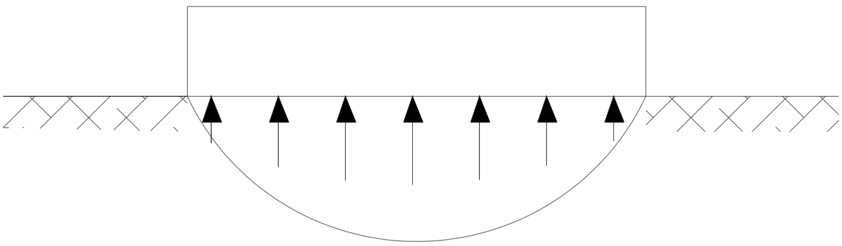
الشكل (10) أساسات محددة الجسوءة

جـ أساسات مطلقة الجسوءة Perfectly Rigid Foundations

في هذا النوع من الأساسات يتم التوزيع النظري للضغط الملامس لسطح التربة بصورة متفاوتة بدرجة كبيرة اعتماداً على نوع التربة، فيكون توزيع الضغط على شكل سرج في حالة التربة الطينية كما بالشكل (11- أ) بينما على شكل قطع مكافئ في حالة التربة الرملية كما بالشكل (11- ب)، وعادة ما يتولد عنها هبوط منتظم أثناء التحميل والتوزيع المتماثل لمطاوعة تربة القاعدة.



أ- التربة الطينية (سرج)



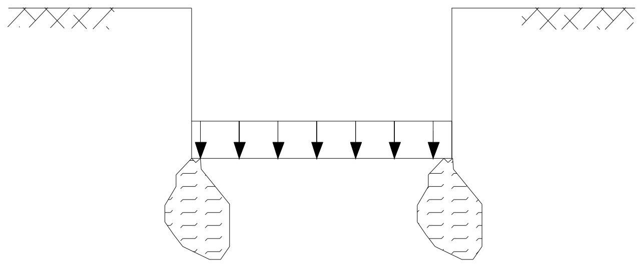
ب- التربة الرملية الجافة (قطع مكافئ)

الشكل (11) أساسـات مطلقة الجسـوءة

عملياً، يكون الضغط الملامس على التربة الطينية منخفضاً عند جوانب الأساس بسبب ليونة الطين، وكلما ازدادت قيمة الحمل على الأساس فإنه تزداد ليونة الطين، لذلك فإن الإجهادات عند الجوانب تقل، بينما يزداد الإجهاد عند مركز الأساس.

الضغط الملامس على التربة الرملية الجافة يبقى على شكل قطع مكافئ وتزداد الكثافة القصوى للضغط بزيادة الحمل، عندما يكون الأساس تحت سطح الأرض فإن

الإجهادات عند الجوانب تكون أطول وتزداد بزيادة العمق تحث سطح الأرض، كما أن تطور مناطق التشوه بالتربة الواقعة تحث الأساس تعتمد على مراحل التحميل كما بالشكل (12).



الشكل (12) تطور مناطق التشوه

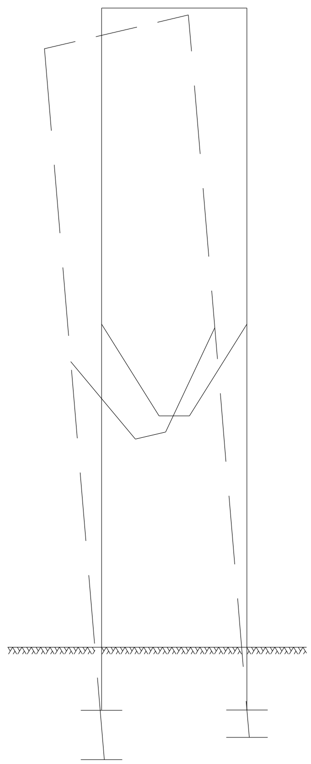
استناداً إلى طبيعة تطور الهبوط غير المنتظم للقاعدة وبالنظر إلى جسوءة الأساسات فإنه توجد خمسة أنواع من تشوهات الإنشاءات، تكون كالتالي:

1- **الميل**

الشكل (13) يبين ما يُعرف بميل المنشأ، وهو دورانه حول محوره الأفقي الذي يمكن أن يحدث في كافة الإنشاءات وخاصة الأبراج والصوامع للأسباب التالية:

أ- تحميل القاعدة بصورة غير متماثلة.

ب- طبقات التربة غير متماثلة بالنسبة للمحور الرأسي للإنشاء.



الشكل (13) الميل

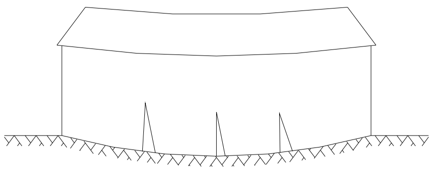
وخير مثال لهذا النوع من الهبوط هو الميل الحاصل في برج بيزا بايطاليا الموضح بالشكل (14)، والذي يوضح بأن الجانب الشمالي للبرج هبط بأكثر من 1.0 متر، في حين أن الجانب الجنوبي هبط بحوالي 3.0 أمتار ليكون الهبوط المتفاوت يساوي 1.80 متر.



الشكل (14) برج بيزا

2- الارتخـاء

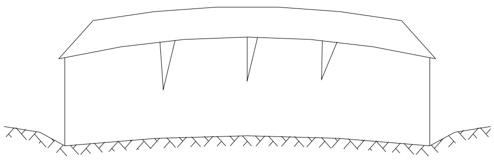
وهو ما يُعرف بالتقعر كما هو موضح بالشكل (15)، حيث أن هذا الارتخاء عادة ما يرتبط بانحناء المنشأ، والذي قد يصيب جميع الإنشاءات.



الشكل (15) الارتخاء

3- **التحدب**

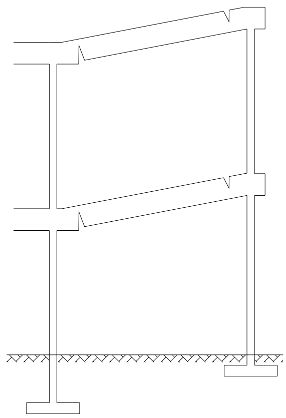
كما هو مبين بالشكل (16)، والذي عادة ما يرتبط بتقوس المنشأ وقد يصيب جميع المباني والمنشآت.



الشكل (16) التحدب

4- **التخـالف**

إن حدوث هذا النوع من التشوه مُرتبط بتطور الهبوط غير المنتظم الحاد على جزء قصير أو صغير من المنشأ، مع الاحتفاظ بالوضع الرأسي كما بالشكل (17).



الشكل (17) التـخالف

5- **الالتـواء**

عندما يحدث الميل غير المتساوي على امتداد أو طول المبنى، فإنه يتسبب في التواء المنشأ وخاصة عندما يكون الميل الحاصل في مقطعي المنشأ متطوراً في اتجاهات مختلفة، هذه الحالة تُعرف بالالتواء.

الفصل الخامس

الأساسات السطحية

1-5 مقدمة Introduction

الأساسات هي حلقة الوصل بين المنشآت والقواعد الصخرية أو الترابية الواقعة أسفلها التي ترتكز عليها هذه المنشآت. والأساس الجيد ينقل أوزان المنشأ بطريقة آمنة إلى التربة دون حدوث أي تحرك ضار للتربة أسفل هذا الأساس أو حوله، والذي قد يتسبب في انهيار كلي أو جزئي للمنشأ، أو انضغاط للطبقات أسفل الأساس، الأمر الذي يؤدي إلى هبوط للمنشأ أو بعض أجزائه بقيم ضارة بالمنشأ أو استخدامه.

يُصمم ويُنفذ الأساس الجيد لمقاومة وزن المنشأ المعروف بالوزن الميت، بالإضافة إلى الأوزان الحية وأحمال الرياح والزلازل أو أية أحمال أخرى طبقاً لنوع واستخدام المنشأ. كذلك فأن الأساس الجيد يجب أن يُصمم وُينفذ لحماية المنشأ من تسرب المياه الجوفية داخل المنشأ أو أن تؤثر في استخداماته.

والأساس قد يكون سطحياً لنقل أحمال المنشأ إلى طبقة التأسيس أو يكون عميقاً داخل التربة لنقل أحمال المنشأ إلى طبقات التربة القوية العميقة أو الطبقات الصخرية أو توزيعها خلال طبقات التربة بطريقة تدريجية وغالباً ما يكون الأساس تحت سطح الأرض حيث يبدأ المنشأ.

وتتعرض الأساسات لمختلف أنواع الأحمال الرأسية مثل أحمال الضغط الناجمة عن أحمال الجاذبية المعروفة بالأوزان الحية المتمثلة في أوزان الأشخاص والأثاث والمعدات

وغيرها، كما يتعرض أيضاً لأحمال جانبية مثل أحمال الزلازل والهزات الأرضية وأحمال الرياح وضغط الأتربة والضغط الهيدروستاتيكي وأحمال صدم الأمواج والسفن والاهتزازات الناجمة عن معدات وآلات الورش والمصانع، كذلك فإن الأساسات في بعض المنشآت وتحت ظروف تشغيل خاصة تتعرض إلى قوى دفع إلى أعلى بفعل دفع الماء أو بسبب انتفاخ التربة.

2-5 اختيار الأساس السطحي Selection of Shallow Foundation

لتحديد نوع الأساسات فإنه عادةً ما يُنصح باستخدام الأساس السطحي لأنه الأكثر اقتصاداً والأسهل تنفيذاً من الأساس العميق، ولكن يلجأ المهندس إلى تنفيذ الأساس العميق اضطراراً، بسبب طبيعة التربة أو المنشأ أو كلاهما، واللذين قد يحولا من استخدام الأساس السطحي.

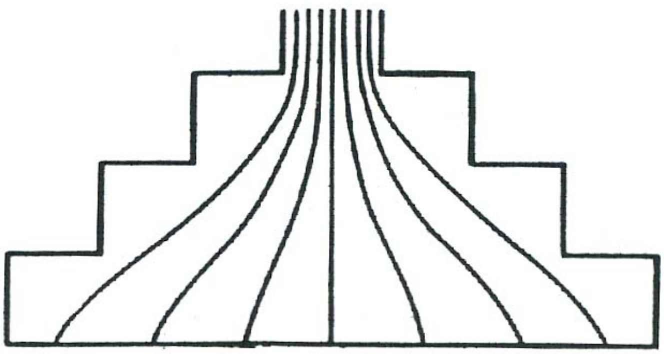
و الحالات التي تُجبرنا على تنفيذ الأساس العميق تكون كالتالي:

1- طبقات التربة العليا تكون ضعيفة مما يتسبب عن أحمال المنشأ انهيار قص في بعض تلك الطبقات أو تضاغط كبير لها، الأمر الذي يؤدي إلى تشوه استخدام المنشأ. أو تكون ظروف الموقع بالغة الصعوبة لإنشاء الأساسات السطحية كالإنشاء في قاع البحار والأنهار.

2- استخدام كامل مساحة المنشأ كأساس غير كافية لنقل الإجهادات إلى التربة، مما يتوجب علينا التأسيس على الطبقة الصخرية أو الكثيفة التحتية التي تكون مقاومتها أعلى.

3- عندما تكون الأحمال الجانبية كبيرة جداً، مما يتطلب عمل نظام إنشائي تحت الأرض لمقاومة القوى الأفقية المنقولة للأساس، حيث تستخدم الأوتاد المائلة لنقل حملها بالاحتكاك إلى التربة العميقة.

حيث أن التربة تتحمل ضغطاً أقل بكثير من مقاومة القطع الإنشائية سواء كانت خرسانية أم حديدية المستندة على الأساسات، لذلك تُصمم الأساسات على شكل يُمكنها من توزيع الأحمال المسلطة عليها على المساحة المطلوبة كما هو موضح بالشكل (18).



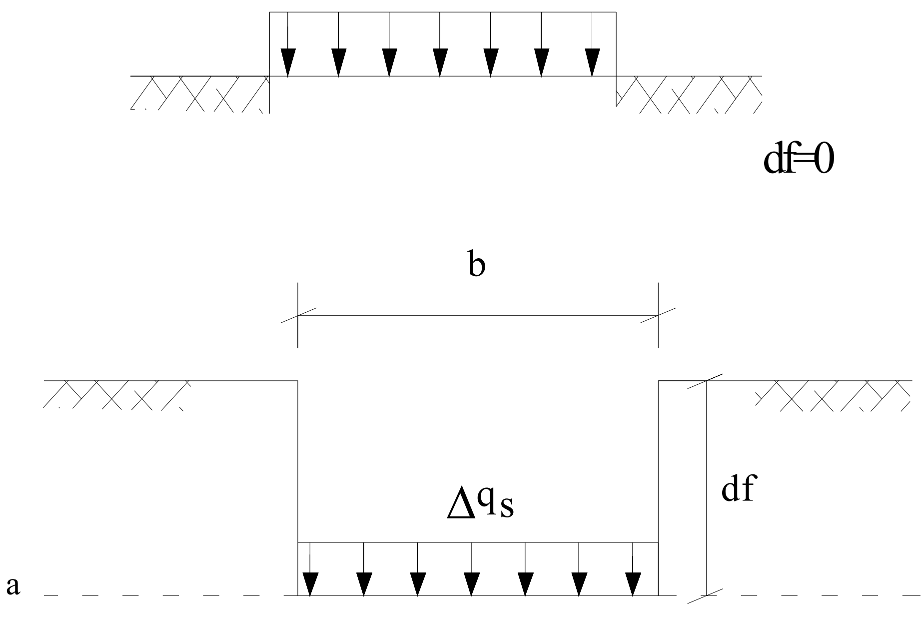
الشكل (18) الرسم التخطيطي لخطوط الضغط في كتلة الأساس

3-5 عمق التأسيس Foundation Depth

يُعتبر عُمق التأسيس من أهم القرارات الفنية التي يتوجب على المهندس الجيوتقني اتخاذها، بحيث لا يقل عن عرض الأساس في الأساسات السطحية كما بالشكل (19)، ويعتمد اختيار عمق التأسيس على الأتي:

أ- نوع التربة.
ب- منسوب المياه الجوفية.
ج- تأثير انتفاخ وتمدد التربة.
د- عمق خط التجمد بالمناطق الباردة.
هـ- الكهوف والفجوات في باطن التربة.

يتوجب على المهندسين عدم التأسيس على طبقات التربة الغير مكتملة الانـضغاط مثل الردم وطبقات التربة المحتوية على مخلفات نباتية، بسبب التغيرات الحجمية التي فد تحدث عند التأسيس عليها مع مرور الزمن، إضافة لضعفها وعدم ثباتها، ويكون هذا في الدرجة الأولى بالطين أو الطمي غير المنضغط أو بالكثبان والترسبات الرملية السائبة.



الشكل (19) عمق التأسيس

وبما أن المنطقة التي تتذبذب فيها المياه الجوفية تكون أقل الطبقات مقاومة وثباتاً، لذلك فإنه يُنصح بالتأسيس أسفل المنسوب الأدنى للتذبذب، أما بالمناطق الباردة فإن خط التجمد يجب أن يقع أعلى منسوب التأسيس للمنشآت، لتفادي التغيرات الحجمية

المصاحبة لتجمد المياه بالتربة، وخاصة للقواعد الخارجية للمبنى التي تكون أكثر تعرضاً للبرودة.

أما في حالة التربة القابلة للانتفاخ، فإنه يجب اختيار عمق كاف للتأسيس على طبقة بعيدة عن المناطق السطحية الجافة المعرضة للبلل، ففي حالة ما يكون التأسيس على طبقات طينية في مناطق جافة معرضة للبلل يكون عمق التأسيس أكثر من متر ونصف من سطح الأرض الطبيعية للقواعد الخارجية.

لتحديد عمق التأسيس للمنشأ، فإنه يتطلب دراسة وجود أية فراغات في باطن الأرض مثل خطوط المياه والصرف الصحي أو أنفاق المحاجر أو الفجوات والكهوف في الأحجار الجيرية أو الفراغات الناجمة عن سحب المياه من الآبار أو سحب النفط من آبار البترول، وفي هذه الحالات يمكن الوصول إلى أعماق كبيرة وذلك بتنفيذ الأساسات العميقة، وفي بعض الأحيان يتم إلغاء تنفيذ المشروع في هذا الموقع إذا كانت العيوب في باطن التربة جسيمة وينتج عن تلافيها تنفيذ أساسات غير اقتصادية.

4-5 قدرة تحمل التربة للأساسات السطحية

The bearing capacity of soil for shallow foundations

منذ بداية الاهتمام بعلم ميكانيكا التربة عن طريق العالم ترزاكي الذي وضع الأساس لهذا العلم، تم تحديد العديد من المعادلات الخاصة بحساب قدرة تحمل التربة للأساسات السطحية من قبل العديد من العلماء والباحثين، وتعطي قيم تقريبية لقدرة تحمل التربة في جداول خاصة لإعداد التصميم الابتدائي للقواعد ومن تم إعادة حساب قدرة تحمل التربة باستخدام أبعاد القاعدة، وفيما يلي معادلة لتحديد قدرة تحمل التربة:

$$Q_u = K_C . N_C C . C + K_D . Nq . \gamma_1 . d_f + K_B . N_\gamma . \gamma_2 . B/2$$

حيث أن:

Q_u = سعة تحمل الضغط القصوى على سطح طبقة التربة.

γ_1 = وحدة الوزن للتربة أعلى منسوب الأساس.

γ_2 = وحدة الوزن للتربة أسفل منسوب الأساس.

B/2 = نصف عرض القاعدة.

d_f = عمق التأسيس.

NC ، Nq ، Nγ : تمثل عوامل قدرة التحميل التي تعتمد فيمها على قيمة زاوية الاحتكاك (φ) كما بالجدول رقم (2).

KC ، KD ، KB : تمثل عوامل الشكل وتعتمد فيمها على شكل القاعدة كما بالجدول رقم (1).

جدول (1) معاملات شكل القاعدة

نوع القاعدة	KC ، KD	KB
شريطية	1.0	1.0
مستطيلة	1+0.3 B/L	1+0.4 B/L
مربعة أو دائرية	1.3	0.6

حيث، B = عرض القاعدة

L = طول القاعدة

جدول (2) معاملات قدرة تحمل التربة

φ	0	5	10	15	20	25	27.5	30	32.5	35	40	45
Nc	5.14	6.5	8.3	11	14.8	20.7	24.9	30.1	37	46.1	75.3	134
Nq	1	1.6	2.5	3.9	6.4	10.7	13.9	18.4	24.6	33.3	64.2	135
Nγ	0	0.2	0.4	1.4	3.6	8.2	12.2	18	27.2	40.8	95.4	241

5-5 السلوك العام للأساسات السطحية

General Behaviour of Shallow Foundations

عبارة الأساسات السطحية تشير إلى أن المنشآت يتم تدعيمها بالتربة الواقعة أسفلها مباشرة، أي أن أحمال هذه المنشآت يتم توزيعها على طبقات التربة السطحية من خلال الأساسات. عادةً ما تكون القواعد المنفصلة المستطيلة مألوفة والأكثر شيوعاً في حالة الأعمدة، بينما تستخدم القواعد الشريطية لتدعيم الحوائط، وكذلك تستخدم الأساسات الحصيرية أحياناً.

ويتوجب على المُصممين بأن لا يزيد مقدار الهبوط غير المنتظم للقاعدة عن القيم القصوى المسموح بها، كذلك يجب تأمين استقرار تربة القاعدة، وبالتالي فإن الهدف الرئيسي من تصميم الأساسات، هو اختيار نوعها وأبعادها الأساسية إلى جانب تحديد عمق التأسيس، وذلك لتأمين البناء المستديم الجيد للإنشاء مع ضرورة أن يكون التصميم اقتصادياً.

تصميم الأساسات عادةً ما يكون بطريقة المحاولة والخطاء، وبعد ما يتم اختيار نوع الأساس وأبعاده بالمحاولة، يتم بعدها مباشرة التحليل الحسابي للتحقق من كفاية

الأساس المقترح، فالأساس يمكن أن يكون كاف ومناسب، كذلك فإنه يتم التأكد ما إذا كان الأساس الأرخص مناسب وآمن، أما في حالة ما يكون الأساس المقترح غير مناسب أو غير كاف، فإنه يؤخذ بالأساس الأكبر.

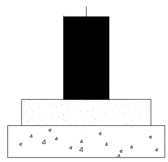
في بعض الحالات يمكن أن يكون من المستحيل تصميم أساس سطحي مناسب على التربة المعطاة، لذلك فأنه يتم اللجوء لتنفيذ الأساسات العميقة أو أجراء تحسين لتربة الموقع المخصص للبناء، إن اختيار الأساس وكذلك الأبعاد بالمحاولة غالباً ما يوجه بجداول الإجهادات المسموح بها.

6-5 أنواع الأساسات السطحية Types of Shallow Foundations

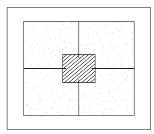
تشمل الأساسات السطحية أنواع متعددة، يتم تحديد نوعيتها المصممون للمنشأ، اعتماداً على نتائج دراسات التربة لموقع الإنشاء وكذلك أحمال المنشأ المُراد تشييده، وتضم الأساسات السطحية أنواع عديدة.

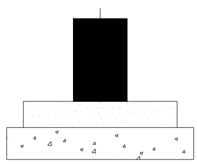
1-6-5 القواعد المنفصلة Isolated Footing

تُعتبر القاعدة المنفصلة تضخيم لقطاع العمود المرتكز عليها، لتناسب الإجهادات المنخفضة للتربة بالمقارنة بإجهاد مادة العمود سواء كان من الخرسانة أم من المعدن كما تم توضيحه بالشكل (18)، وقد تكون القواعد المنفصلة مربعة أو دائرية أو مستطيلة الشكل في المسقط الأفقي كما بالشكل (20)، وعادةً ما تكون القواعد المستطيلة الأكثر استخداماً.

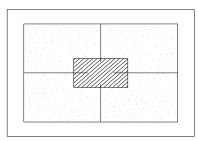


قاعدة مربعة





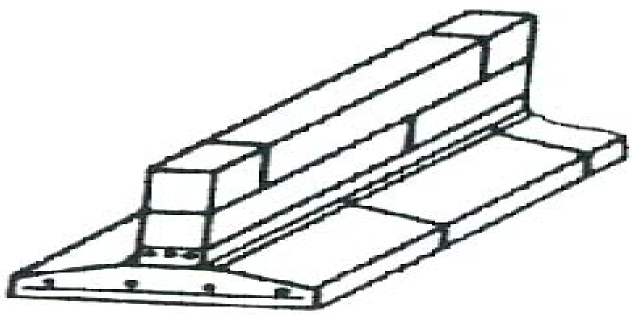
قاعدة مستطيلة



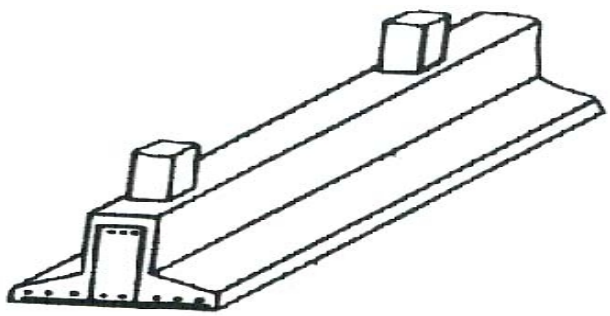
الشكل (20) الأساسات المنفصلة

2-6-5 الأساسات الشريطية Strip Foundations

تستخدم كأساس للحوائط بكافة أنواعها وللأعمدة الخرسانية والمعدنية المتقاربة الواقعة في صف واحد كما بالشكل (21).



أ – أساس شريطي تحت الحائط



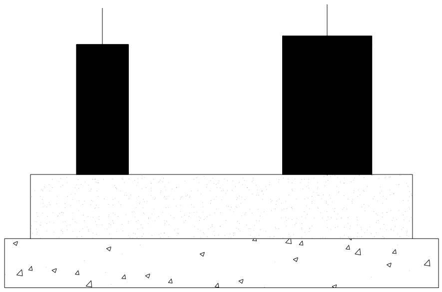
ب – أساس شريطي تحت الأعمدة

الشكل (21) الأساسات الشريطية

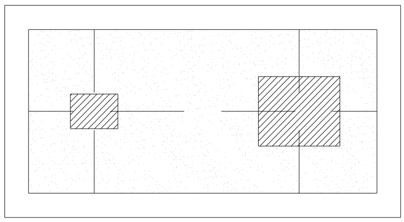
مهمة الأساسات الشريطية نقل وتوزيع حمل الحوائط أو الأعمدة إلى التربة بحيث لا تزيد الأحمال المنقولة إلى منسوب التأسيس على قدرة تحمل التربة المسموح بها عند هذا المنسوب.

3-6-5 القواعد المشتركة Combined Footing

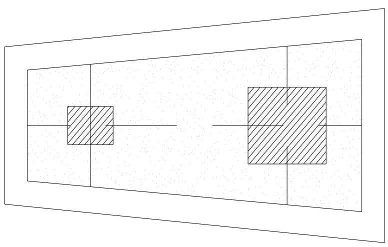
وهي القواعد التي تحمل عمودين أو أكثر في صف واحد، تنفذ لعدة أغراض، منها التغلب على اللامركزية الناجمة عن وجود أعمدة خارجية ملاصقة لخط الجار، وذلك باختيار أقرب الأعمدة الداخلية على خط واحد مع عمود الجار وعمل قاعدة مركبة للعمودين، وكذلك في حالة تداخل قواعد الأعمدة المتقاربة مع بعضها البعض، وتأخذ القواعد المشتركة أشكالاً عديدة والأكثر شيوعاً القواعد المستطيلة والشبه منحرفة كما بالشكل (22).



قطاع رأسي



قاعدة مستطيلة



قاعدة شبه منحرفة

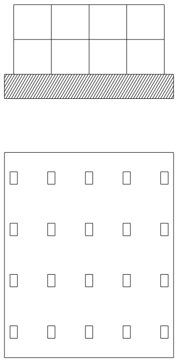
الشكل (22) الأساسـات المركبة

4-6-5 الأساسات الحصيرية Raft Foundations

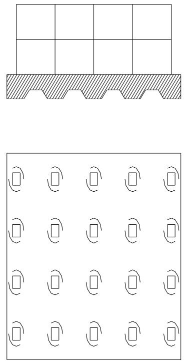
تُعتبر الأساسات الحصيرية أسقف خرسانية مقلوبة ترتكز عليها العديد من الأعمدة للمنشآت المنفذة عليها، ويرتكز الأساس الحصيرة على التربة أو على الصخر، وترتكز الحصيرة في بعض الأحيان على الأوتاد لنقل الأحمال المسلطة عليها بالاحتكاك خلال طبقات التربة.

يستخدم هذا النوع من الأساسات لأغراض عديدة بسبب قلة تحمل التربة في الموقع المُراد التأسيس عليه ولمساواة الهبوط الغير متساوي في حالة استخدام الأساسات السطحية الأخرى، وهو أساس مستمر لمساحة المنشأ بأكمله أو لجزء منه، حيث تنتقل إليه أحمال الأعمدة والحوائط لتوزيعها على التربة.

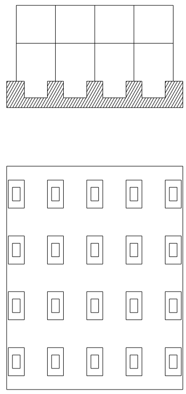
ويستخدم الأساس الحصيرة في حالة التربة المتباينة الخواص مثل احتوائها على جيوب لينة وأخرى صلبة أو في حالة احتواء موقع التأسيس على مناطق صخرية مفتتة وأخرى متماسكة صلبة، وكذلك تستخدم الأساسات الحصيرية في حالة وجود تكهفات وفجوات والمناطق شديدة الضعف، كما أنه يتوجب استخدامها لمنشآت ذات حساسية عالية للهبوط، في حين أن التكوين الهندسي لبعض المنشآت يحتاج لأساس الحصيرة مثل المداخن وصوامع الغلال والخزانات الأرضية والآلات الكبيرة وصوامع الأسمنت والمآذن وكذلك للمنشآت ذات البدرومات الواقعة أسفل منسوب المياه الجوفية لمنع تسرب المياه الجوفية إلى داخله، ويشتمل الأساس الحصيرة على أنواع عديدة كما بالشكل (23).



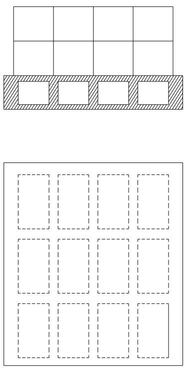
أ- حصيرة مسطحة



ب- حصيرة ذات ثخانة تحت الأعمدة



ج- حصيرة مسطحة ذات كمرات



د- جدران سرداب كجزء من الحصيرة

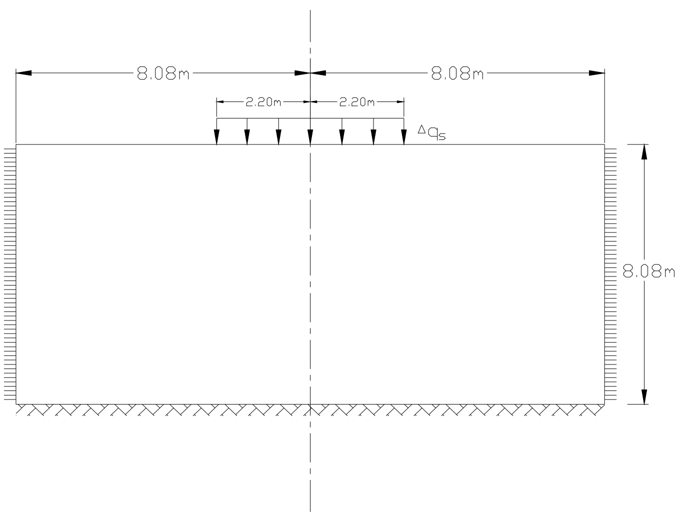
الشكل (23) أنواع الحصيرة

7-5 سلوك الأساس على المواد المرنة اللدنة

Behaviour of Foundation on Elastoplastic Material

للمساعدة في فهم السلوك العام للأساسات السطحية، نأخذ الحالة المبينة بالشكل (24) حيث أن زيادة الإجهاد Δqs تم تطبيقها على سطح مثالي وأنه تم افتراض أن هذه المادة مرنة حتى وصول الإجهاد الأقصى للقص للقيمة c، عند الوصول لهذه القيمة فإن التشوه يمكن أن يحدث عند إجهاد القص الثابت.

هذه المادة اُعتبرت على أنها مرنة بشكل مثالي بالنظر للتغير في الحجم، وبما أنه تم زيادة قيمة Δqs فإن كل الجسم يسلك أولاً السلوك المرن، وكذلك فإن الإجهاد والهبوط يمكن توقعهما باستخدام نظرية المرونة.

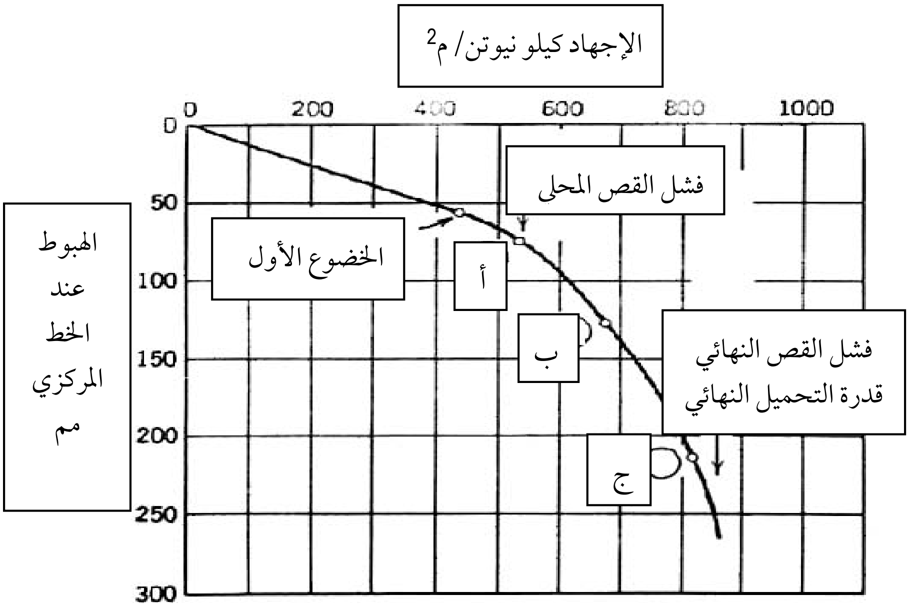


الشكل (24) حمل شريطي متعادل على مادة افتراضية مرنة لدنة

وكلما كانت قيم $c > \tau\ max$ عند كل النقاط، فإن الهبوط يتناسب مع Δqs، لأي قيمة من Δqs فإن أكبر قيمة من $\tau\ max$ تحدث على طول المحور المركزي للقاعدة عند عمق تقريباً يساوي واحد ونصف عرض المسافة المسلط عليها الحمل، وعندما تُصبح قيمة $\Delta qs = 432.8$ كيلو نيوتن/ م2، تكون $c = \tau\ max$ وهي ما يُعرف بالنقطة الحرجة.

لذلك فإنه لا شيء يحدث عند هذه المرحلة لأن هذه النقطة وهي نقطة الخضوع محاطة بالكامل بمادة يمكن أن تنقل إجهاد أضافي، أي زيادة في قيمة Δqs، بعد ذلك تسبب التدفق اللدن لنقطة الخضوع والتشوه اللدن الإضافي للنقاط المحيطة، وبالتالي فإن النقاط المجاورةً تخضع تدريجياً، بينما تنمو المنطقة اللدنة.

الشكل (25) يوضح منحنى الوزن مع الهبوط ونمو المنطقة اللدنة بعد نقطة الخضوع بقليل، حيث يبدأ المنحنى مباشرة في الانحدار (النقطة A) وتُعرف هذه الحالة بانهيار القص المحلي (local shear failure) ويزداد انحدار المنحنى تدريجياً بانتشار المنطقة اللدنة ما بعد المنطقة المُحملة (النقطة C)، عندما يحدث هذا، فإن الهبوط يزداد بسرعة حتى تصل في النهاية إلى النقطة التي من غير الممكن زيادة قيمة Δqs بدون زيادة كبيرة في الهبوط، وهذا يحدث عندما تكون قيمة $\Delta qs = 862$ كيلو نيوتن/ م2، وعند هذه المرحلة تسمى الحالة بانهيار القص العام (general shear failure) حيث أن قيمة Δqs في هذه الحالة تسمى بقدرة التحميل النهائي.

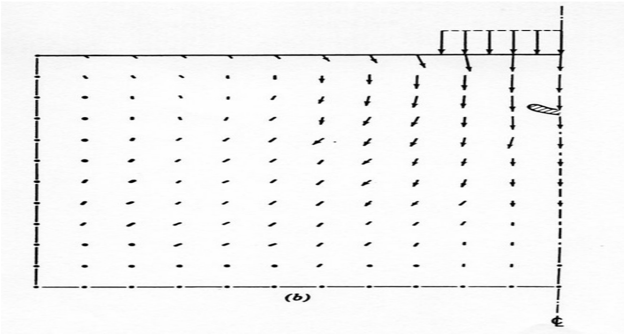


الشكل (25) منحنى الوزن مع الهبوط

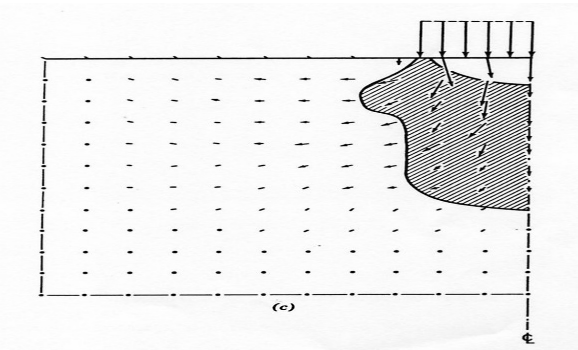
في الشكل (26) نلاحظ الأسهم التي تبين الاتجاه والمقدار النسبي لحركة حبيبات التربة المختلفة أثناء زيادة بسيطة للحمل، وعند تحميل الجزء المرن فإن حبيبات التربة على السطح خارج المنطقة المُحملة تتحرك إلى الأسفل ونحو الحمل.

على أية حال عندما يحدث الخضوع فإن هذه الحبيبات تبدأ في التحرك إلى الأعلى وإلى الخارج، وشكل الحمل النهائي يوضح سريان حبيبات التربة من أسفل الحمل إلى الجوانب وإلى الأعلى، وكما هو متوقع فإن هذه الحركة تكون الأكبر قي المنطقة التي تم خضوعها.

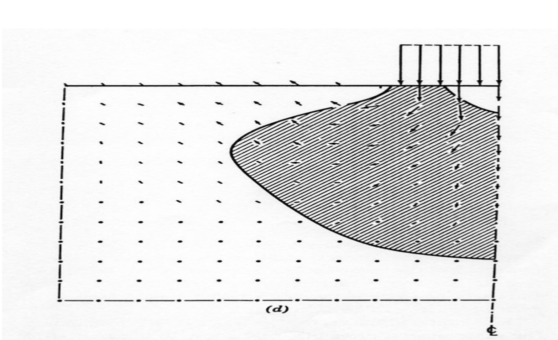
الشكل (26 – ج) يوضح نمط حركة حبيبات التربة وكيف أن التربة تم دفعها وأزاحتها من تحت القاعدة إلى الخارج مما يؤدي إلى ارتفاع سطح التربة المحيطة بالقاعدة.



أ- الإزاحة ونقطة الخضوع الأولى عند الحمل 432.8 كيلو نيوتن/ م2



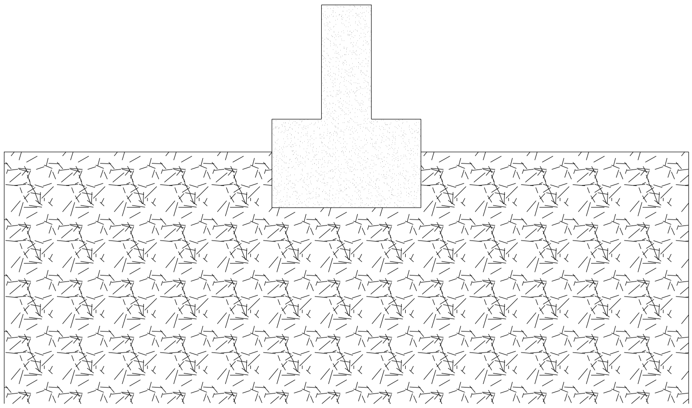
ب- مدى منطقة الخضوع وحقل الحركة عند الحمل 670.3 كيلو نيوتن/ م2



ج- مدى منطقة الخضوع وحقل الحركة عند الحمل 814.0 كيلو نيوتن/ م2

الشكل (26) مناطق الخضوع عند الحمل

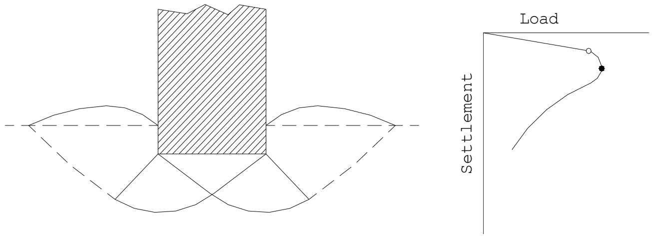
الشكل (27) يبين نمط الحركة عند الانهيار خلال كومة قضبان صلبة حملت بواسطة الصدمة، الصورة الموضحة بالشكل تزودنا بقاعدة لفهم تطور الهبوط بالتربة الحبيبية، لاحظ كيفية اندفاع حبيبات التربة إلى الخارج من أسفل القواعد لتتسبب في ارتفاع التربة المجاورة للقاعدة، نمط الحركة هنا مشابه تماماً لما تم حسابه للمادة الافتراضية كما بالشكل (26 – ج).



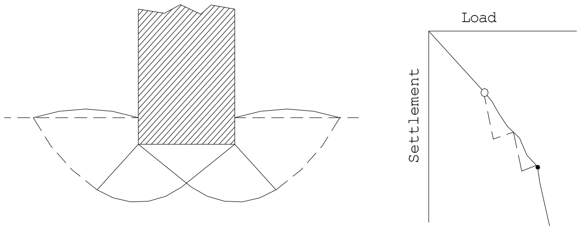
الشكل (27) مناطق الانهيار تحت القاعدة

الشكل (28) يبين منحنيات الوزن مع الهبوط الناجمة عن اختبارات التحميل للصحن الدائري الذي يتراوح قطره ما بين (50 – 200) مم الموضوع على تربة رملية جافة.

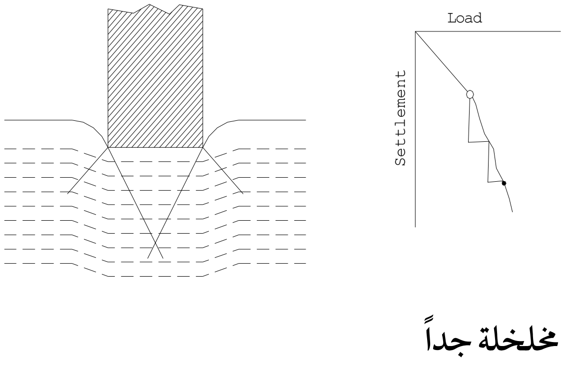
الشكل (28– ب) يمثل المنحنى للتربة الرملية متوسطة الكثافة وهو مشابه جداً لما هو موضح بالشكل (26)، ونلاحظ بهذا المنحنى أنه هناك نقطة انكسار مُعرفة جيداً مطابقة لانهيار القص المحلي (local shear failure)، وبعد هذه النقطة فإن المنحنى يُصبح أكثر انحداراً إلى حين حدوث انهيار القص العام (general shear failure)، ومنحنى الوزن مع الهبوط الفعلي يبين زيادة تدريجية في المقاومة حتى بعد انهيار القص العام.



أ- تربة رملية كثيفة



ب- تربة رملية متوسطة الكثافة



ج- تربة رملية مخلخلة جداً

الشكل (28) منحنيات الوزن مع الهبوط ومناطق القص
أثناء اختبار نموذجي على التربة رملية

كما نلاحظ أنه كلما يزداد اختراق القاعدة فإن التربة فوق قاعدة الأساس تؤثر كقوة إضافية مضادة لحركة حبيبات التربة المتجهة للأعلى، وبالتالي فإنها تعمل على زيادة مقاومة القص للتربة.

بالنسبة للتربة الرملية المخلخلة جداً أو ضعيفة الكثافة كما بالشكل (28- ج) فإن مناطق القص بجوانب القاعدة غير مُعرفة إطلاقا، وحتى في حالة ما إذا حدث أي ارتفاع لسطح التربة فإنه يكون قليل جداً، وهذا السلوك يسمى بانهيار التخريم (punching failure).

كما بالشكل (28- أ) فإن السلوك يكون مختلفاً عندما يرتكز الأساس على التربة الرملية الكثيفة جداً، فالحمل بتسبب في انهيار قص عام، وهو أكبر بطفيف من الحمل المسبب لانهيار الفص المحلي، وفي هذه الحالة فإن أسطح الانهيار المُعرفة تتطور بحدة عالية.

بانهيار القص العام فإن المقاومة تقل بسبب فقدان مقاومة الترابط للرمل الكثيف عند أعلى نقطة لمنحنى الإجهاد مع الانفعال.

وبالرغم أنه لم يتم توضيحه فإن المقاومة ستزداد في النهاية مرة أخرى بسبب تأثير القوة الإضافية بجوانب الأساس، حيث يحدث هذا التطور عند اختراق الأساس إلى عمق كبير.

الفصل السادس

هبوط الأساسات

1-6 معيار التصميم Design Criteria

إن المعيار الأساسي المتحكم في تصميم الأساسات، ذلك الذي لا تزيد فيه قيم الهبوط عن بعض القيم المسموح بها، هذه القيم تختلف من منشأ لآخر، ولضمان هذا المعيار الأساسي، فإنه يتوجب على المهندس أن يأخذ في الاعتبار العاملين التاليين:

أولاً: لأي أساس هناك بعض القيم من الإجهاد المسلط، والذي يبدأ عنده الهبوط ليُصبح كبيراً جداً ويصعب توقعه، هذا الحمل يُعرف بقدرة التحميل، لذلك فإن الأساس يجب أن يصمم على أن إجهاد التحميل الفعلي أقل من فدرة التحميل بهامش آمان مناسب وذلك لتلافي اللبس في توقع كلاً من إجهاد التحميل وقدرة التحميل.

عموماً فإن قدرة التحميل، عادة ما تؤخذ على أنها إجهاد التحميل المسبب لانهيار القص المحلي (local shear failure)، أي أنه الإجهاد المُطابق لركبة منحنى الإجهاد مع الهبوط.

ثانياً: بعد تحديد قدرة التحميل والتأكد من أن قدرة التحميل تزيد عن إجهاد التحميل المتوقع بهامش أمان مناسب، لذلك فإنه يجب على المهندس أن يتوقع الهبوط الذي سوف يحدث عند الحمل المتوقع ومقارنة الهبوط المتوقع بالقيمة المسموح بها.

هكذا فإنه هناك ثلاث خطوات رئيسية لتحليل تصميم الأساسات وهي:

1- اختيار معامل الأمان المطلوب عند انهيار القص والهبوط المسموح به.

2- إيجاد قدرة التحميل ومعامل الأمان الفعلي للحمل المتوقع.

3- توقع الهبوط ومقارنته بالهبوط المسموح به.

إجهاد التحميل Δqs يُعرف على أنه الإجهاد الفعلي المسلط على التربة، وقيمته في حالة الأساس الفعلي يجب أن لا تزيد عن قيمة إجهاد التحميل المسموح به $(\Delta qs)all$.

2-6 هبوط الأساسات Foundation Settlement

إجهاد التحميل يتم اختياره بعد اعتبار الأمان ضد عدم الاستقرار والهبوط المسموح به والجانب الاقتصادي.

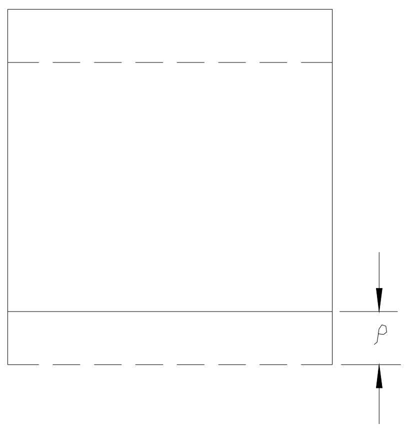
1-2-6 الهبوط المسموح به Allowable Settlement

يعتمد الهبوط المسموح به على عدة عوامل، والتي تشمل نوع وحجم وموقع وغرض استخدام المنشأ، وكذلك سبب ومعدل وشكل الهبوط.

يمكن تحديد الهبوط المسموح به من قبل المهندس المُصمم للمنشأ، والذي يطلب من المهندس المُصمم للأساسات التقيد به، وبالتالي فإن مهندس الأساسات يجد نفسه بين المهندس الإنشائي الذي لا يريد أي هبوط بالمنشأ وبين المالك الذي يريد أساسات اقتصادية.

2-2-6 الهبوط الكلي Total Settlement

الشكل (29) يوضح الهبوط الكلي للمبنى، والذي عادة ما يُعتبر عامل غير حرج، بل يُعتبر مبدئياً سؤالاً مألوفاً، فإذا زادت قيمة الهبوط الكلي عن (150 – 300) مم، فمن الممكن أن تتسبب متاعب لأنابيب المياه والغاز والصرف الصحي المثبتة بالمنشأ، لذلك يجب الأخذ في الاعتبار مقدار الهبوط الكلي للمنشأ أثناء تصميم هذه الأنابيب.

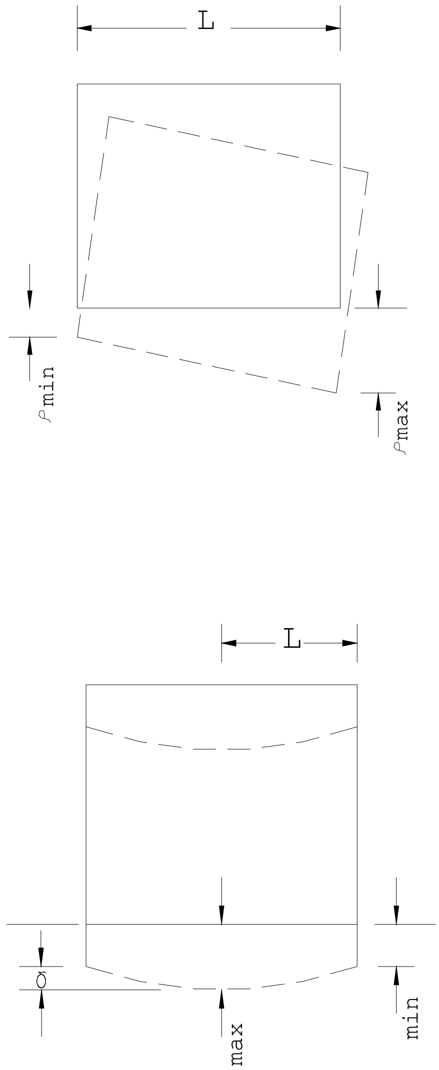


الشكل (29) الهبوط الكلي

3-2-6 الهبوط المتفاوت Deferential Settlement

الشكل (30) يبين الهبوط المتفاوت الذي يُعرف بالتشوه الزاوي أو الالتواء الزاوي، حيث أنه يساوي الفرق في الهبوط بين نقطتين مقسوماً على المسافة الأفقية بينهما.

وينشأ الهبوط المتفاوت من إجهاد تحميل غير منتظم على تربة متجانسة، وكذلك عندما تكون حالة التربة غير متجانسة.



الشكل (30) الهبوط المتفاوت

3-6 أسباب هبـوط الأساسـات Reasons of Foundation Settlement

يمكن الشعور بالهبـوط عن طريق ملاحظة التشققات بالحـوائط الخارجية والحوائط الداخلية، وكذلك بملاحظة الدوران بالمنشأ الذي يسببه الهبوط الغير متساوي والغير منتظم. ويمكن اعتبار هبوط الأساس مُساوياً لمجموع أنواع الهبوط التالية:

أ- الهبوط غير المنتظم الناجم عن توطيد التربة

ب-الهبوط غير المنتظم الناجم عن تضعيف تربة القاعدة

ج- الهبوط الناجم عن انتفاخ التربة

د- الهبوط الناجم عن اختلال بنية تربة القاعدة

1-3-6 الهبوط غير المنتظم الناجم عن توطيد التربة

None-uniform Settlement of Densified Soil □

هذا الهبوط ينتج عن تقليل مسامية تربة الأساس بفعل الإجهادات المؤثرة عليها والناجمة عن تحميل الأساس نفسه، إضافة إلى تحميل الأساسات المجاورة، وفي هذه الحالة يكون الهبوط غير متساوي أو غير منتظم تحت المبنى للأسباب التالية:

1- اختلاف الظروف الجيولوجية لموقع الإنشاء بسبب وجود طبقات التربة الرقائقية الغير متناسقة، إلى جانب الاختلاف الشديد في تجانس طبقات التربة الموجودة بالمنطقة.

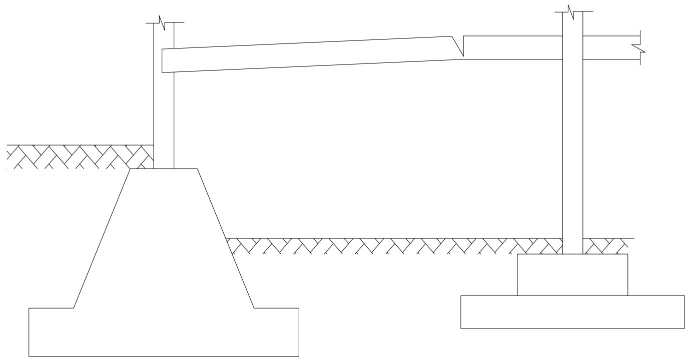
2- التوزيع غير المنتظم للشوائب الدخيلة بتربة الأساس، وهو ما يتسبب في التماسك غير المتساوي للتربة.

3- الحمل غير المتساوي المؤثر على الأساسات، الأمر الذي يجعل المهندس القيام بتصميم قواعد ذات أبعاد غير متساوية.

4- يتأثر هبوط الأساس في المنشأ بالأحمال المؤثرة على الأساسات المجاورة أو على سطح التربة.

5- اختلاف تربة القاعدة.

6- حدوث هبوط غير منتظم كبير للأساس في السنوات التالية لإقامة المنشأ، وذلك بعد تحميله في فترات زمنية مختلفة كما بالشكل (31).



الشكل (31) تشوهات العوارض عند تأخر وضع حمل الأعمدة

2-3-6 الهبوط غير المنتظم الناجم عن تضعيف تربة القاعدة

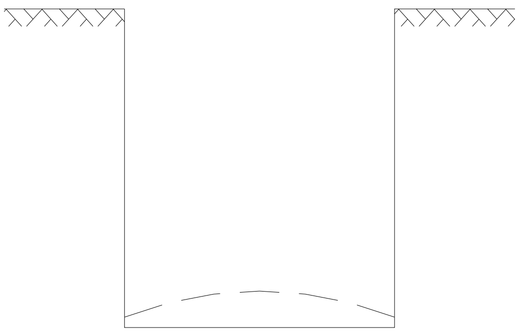
Non-uniform Settlement of Weaking the Soil

هذا النوع من هبوط الأساس يحدث بسبب تضعيف الطبقات العليا من التربة الواقعة تحت قاع حفرة الأساس، وهو عادة ما يظهر ويتطور تحت تأثير حمل المنشأ عندما يكون وزنه أقل من وزن التربة التي تم أخراجها أثناء القيام بأعمال حفر الأساس، مما يتولد عنه تضعيف في التربة الواقعة أسفل هذا الأساس، وبالتالي تتسبب في ظهور وتطور التشوهات المرنة تحت تأثير ضغط التربة المحيطة بقاع حفرة الأساس وبذلك يحدث الارتفاع غير المنتظم لقاع حفرة الأساس كما بالشكل (32)، والتي تؤدي إلى حدوث الهبوط غير المنتظم للأسباب التالية:

أ- يكون تضعيف التربة تحت الجزء الأوسط لحفرة الأساس أكبر مما هو عليه بالجوانب والزوايا.

ب- الفترة الزمنية المختلفة لتضعيف تربة القاعدة.

ج- الارتفاع غير المتساوي لقاع حفرة الأساس بسبب الهبوط غير المنتظم الناجم عن توطيد التربة.

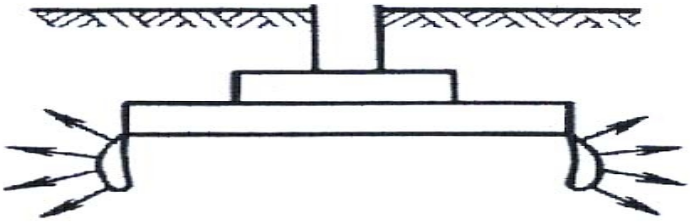


الشكل (32) انتفاخ قاع حفرة الأساس

3-3-6 الهبـوط النـاجم عـن انتفـاخ التـربة Settlement of Soil Swelling

إن الهبوط مرتبط بتطور التشوهات اللدنة لتربة القاعدة، حيث أن الضغط يتوزع توزيع غير منتظم على قاعدة الأساسات الصلبة، ويظهر عند حواف وأطراف الأساسات ضغط يؤدي إلى ظهور وتطور مناطق تشوهات لدنة صغيرة، وتتم عملية إعادة توزيع الضغط على قاعدة الأساس، حيـث تقل شدة الضغط عند الحواف وتزداد في القسم الأوسط من الأساسات وبقدر تحميل الأساس تتوسع مناطق التشوهات اللدنة ويزداد الهبوط الناجم عن انتفاخ التربة كما بالشكل (33).

إن أسباب تطور الهبوط غير المنتظم الناجم عن انتفاخ التربة، هي نفس الأسباب التي تؤدي إلى تطور الهبوط غير المنتظم الناجم عن توطيد التربة.



الشكل (33) اتجاه تطور تشوهات البروز

4-3-6 الهبوط الناجم عن اختلال بنية تربة القاعدة

تتعرض بنية التربة الطبيعية للاختلال عند البدء في أعمال الحفر لتنفيذ الأساسات، حيث تتعرض تربة القاعدة لتأثير عدة عوامل تتسبب في اختلال البنية الطبيعية للتربة والتي تودي إلى تغير في التركيب الإنشائي لبنية التربة، إلى جانب تغير خواصها الطبيعية والميكانيكية، وبالتالي زيادة انضغاطيتها وانخفاض في مقاومتها للقص.

إن قيمة الهبوط الناجم من اختلال بنية التربة يعتمد على العوامل الآتية:

أ- طريقة أعمال الحفر للأساسات.

ب- طبيعة تصريف المياه.

ج- فترة العمل منذ البدء في أعمال الحفر للأساس إلى إعادة وضع التربة حول الأساس.

د- نوعية الإجراءات المتخذة للحفاظ على البنية الطبيعية للتربة.

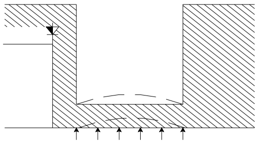
إن تأثير المياه الجوفية والغازات يؤدي إلى اختلال بنية التربة كما بالشكل (34)، وذلك نتيجة للأسباب التالية:

أ- الضغط الهيدروستاتيكي.

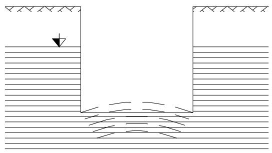
ب- الضغط الهيدروديناميكي.

ج- التهدم الميكانيكي والكيميائي.

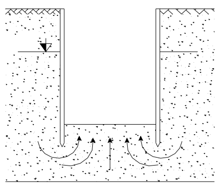
د- تمدد وخروج الغازات المذابة.



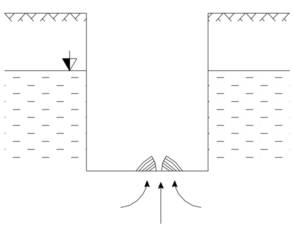
أ- تشوه طبقة التربة بتأثير ضغط المياه



ب- تشوه الطين الرقائقي بتأثير ضغط المياه



ج- اختلال بنية التربة بتأثير ضغط المياه



د- التهدم الميكانيكي للتربة بفعل الماء

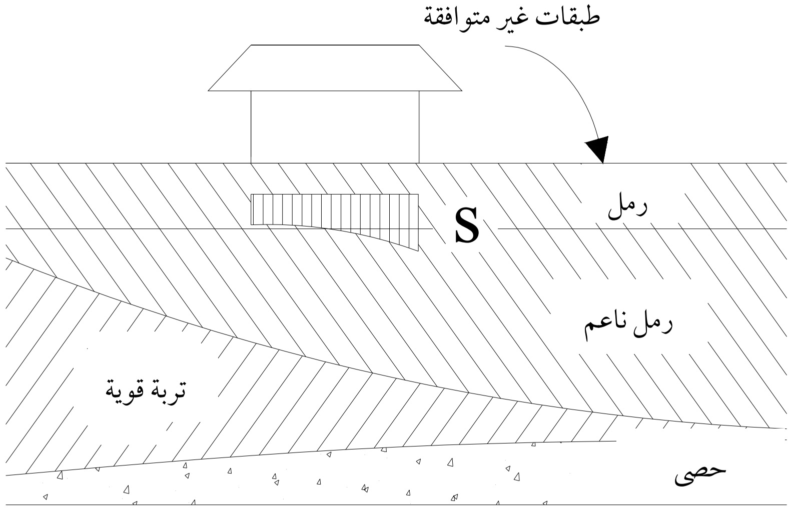
الشكل (34) تهدم بنية التربة بتأثير المياه الجوفية

4-6 الهبوط المدمر المسبب للانهيار Causes of Damaging Settlement

هناك العديد من حالات الهبوط التي تتسبب في حدوث الانهيار المدمر للمنشآت، والتي تتمثل في الأتي:

1-4-6 طبقات التربة غير المتوافقة Non-Uniform Soil Layers

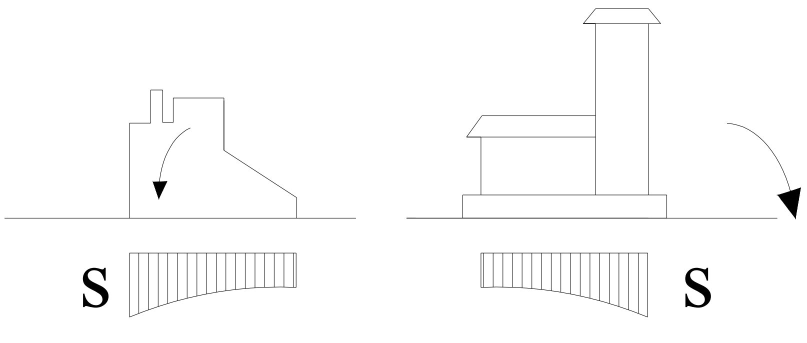
كما هو مبين بالشكل (35) نلاحظ التباين الواضح في طبقات التربة لموقع التأسيس من حيث اختلاف نوعية التربة لكل طبقة وتغير سمكها قي الموقع، وبالتالي نلاحظ التفاوت الكبير في قيم الهبوط بالمنشأ، والذي قد يؤدي للانهيار.



الشكل (35) طبقات التربة غير المتوافقة

2-4-6 **الأحمـال غـير المتـوافقة** Non-Uniform Loads

في هذه الحالة يحدث تفاوت واضح في قيم الهبوط بأجزاء المبنى نتيجة لاختلاف الأوزان المسلطة عليه، وهذا عادةً ما يحدث في المباني التي تشتمل على ارتفاعات مختلفة، وبالتالي اختلاف في الأحمال كما بالشكل (36).

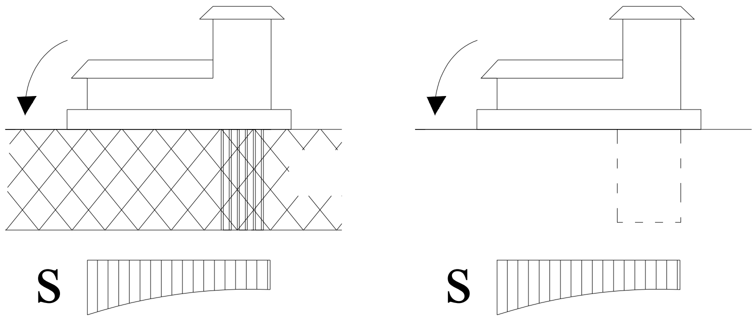


الشكل (36) الأحمال غير المتوافقة

3-4-6 **اختلاف طـرق التأسـيس تحـت نفـس المبـنى**

Different foundation methods under the same building

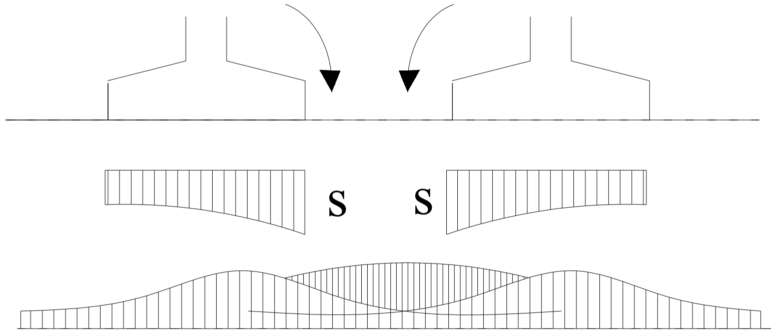
في بعض الأحيان تختلف قيم الأحمال المسلطة على المبنى من جزء لأخر، إلى جانب الاختلاف في نوعية التربة والتفاوت في سمك طبقاتها من مكان لآخر بموقع التأسيس، الأمر الذي يُجبر المصممين على استخدام طرق تأسيس مختلفة، لتشتمل بعض أجزاء المبني على أساسات سطحية في حين تشتمل الأجزاء الأخرى على أساسات عميقة كما بالشكل (37)، وهذا يقود إلى اختلاف متباين في قيم الهبوط، والذي قد يؤدي للانهيار.



الشكل (37) اختلاف طرق التأسيس تحت نفس المبنى

4-4-6 **الإجهاد المتداخل من الأساسات** Stress Superposition

المنشآت التي تشتمل على أساسات قريبة من بعضها البعض، وخاصة المباني ذات الأحمال الكبيرة، عادةً ما يحدث الإجهاد المتداخل بالتربة الواقعة بين هذه الأساسات بسبب الأحمال المسلطة عليها من المنشأ عبر الأعمدة كما بالشكل (38)، ويصل هذا التداخل إلى أعماق مختلفة حسب قيمة الأحمال المسلطة على هذه الأساسات، والذي يتسبب في تكون مناطق ضعف غالباً ما تؤدي للانهيار.

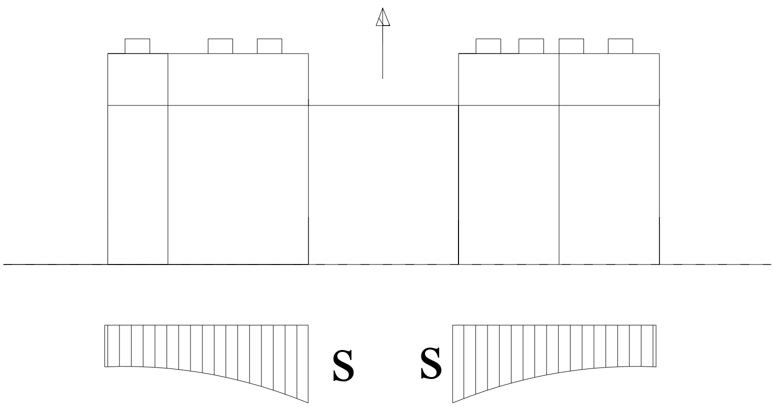


الشكل (38) الإجهاد المتداخل من الأساسات

5-4-6 الإجهاد النـاجم عن المبـاني السـابقة

Upsetting the equilibrium state of existing building

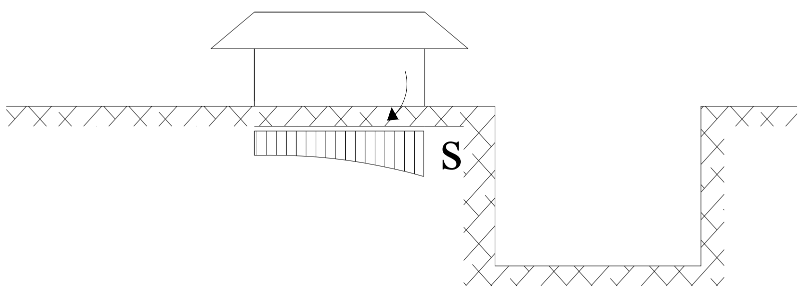
في حالة تنفيذ مباني حديثة بجوار مباني قائمة فإنه يحدث تأثير متبادل بين أساسات المبنيين، وحيث أن التربة الواقعة أسفل الأساس القديم مُجهدة مُسبقاً، وعند إنشاء المبنى الجديد تتحرك حبيبات التربة من أسفل الأساسات المُجاورة لهذا المبنى إلى الخارج، لتتسبب في انضغاط التربة قي المنطقة الواقعة بين المبنيين، وبالتالي يتضاعف الإجهاد لأعماق متفاوتة طبقاً لقيم الأحمال المسلطة على الأساسـات المتجاورة للمبنيين واعتـماداً على نوع وحـالة التـربة، وبالتالي تكون قيم الهبوط لأساسات المبنيين من الناحية المجاورة أكبر من قيم هبوط بقية الأساسات كما بالشكل (39)، الأمر الذي يتسبب في تشوه المبنيين وبالتالي قد يؤدي للانهيار.



الشكل (39) الإجهاد الناجم عن المباني السابقة

6-4-6 الحفر العميق المجاور للأساسات Deep Excavation Near Foundations

قي حالات كثيرة يتم تنفيذ أعمال الحفر العميق بجوار الأساسات، ويكون ذلك إما لتنفيذ الأساسات لمنشأ جديد مجاور لمبنى قديم أو لتنفيذ مواسير المياه والصرف الصحي أو خطوط الغاز والكهرباء والبريد، وكذلك في حالة تنفيذ الأنفاق والخنادق، الشكل (40) يوضح قيمة الهبوط للأساسات المجاورة للحفر العميق أكبر منها للأساسات الأحرى، وهذا مرده إلى أن حبيبات التربة تتحرك من أسفل الأساسات إلى الخارج في اتجاه الحفر العميق الذي يتسبب في تضعيف التربة.



الشكل (40) الحفر العميق المجاور للأساسات

الفصل السابع

الأساسات العميقة

7 1. مقدمة Introduction

الغرض من تنفيذ أي أساس هو نقل الأحمال أو القوي إلى الأرض بدون إفراط في الهبوط، ويتم تنفيذ الأساسات العميقة في طبقات التربة الرخوة الموجودة بقرب سطح الأرض، ووظيفة الأساسات العميقة هو نقل أحمال المنشأ خلال طبقات التربة الرخوة إلى طبقة التربة الصلبة المتماسكة الواقعة أسفلها. وهذا النوع من الأساسات في حالة طبقات التربة الرخوة ليس من الضروري أن تكون الأفضل والأكثر اقتصاداً.

واختيار الأساس العميق المناسب للموقع يعتمد على العوامل التالية:

1- نوعية التربة الرخوة.
2- سمك الطبقات الرخوة من التربة.
3- نوع المنشأ.
4- المدة الزمنية المتاحة للتنفيذ.
5- إمكانية توطيد التربة.

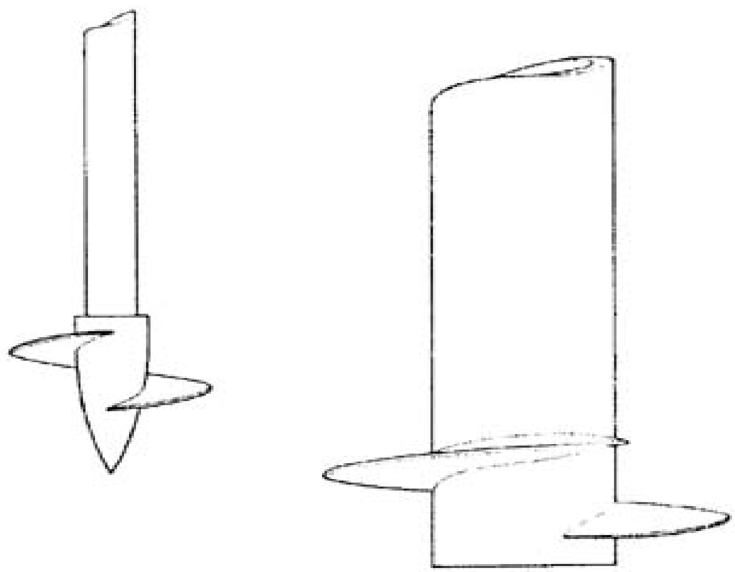
وتشمل الأساسات العميقة أنواعاً كثيرة، منها الأوتاد (   ) والقيسونات (   )، وتُعتبر الأوتاد أكثر انتشاراً واستخداماً.

2-7 **الأوتاد** Piles

تستخدم الأوتاد لحمل الأوزان إلى الطبقات التحتية خلال طبقات التربة الضعيفة أو الطبقات ذات المواد الضعيفة أو خلال الماء.

في الحالة المثالية، يمكن اتخاذ القرار باستخدام الأوتاد اعتماداً على نتائج استكشاف الموقع التي توضح وجود طبقة صخرية أو بحصية أو طبقة تربة رملية كثيفة واقعة تحت التربة الغرينية أو الطين الناعم، والذي تُعتبر إزالته أو الحفر خلاله باهظة التكاليف.

وفي بعض الأحيان توثر على بعض المباني أحمال جانبية كبيرة جداً، ولمقاومة القوى الأفقية الناجمة عن هذه الأحمال يتم استخدام الأوتاد المائلة (BATTER PILES) لنقل حملها بالاحتكاك إلى التربة العميقة كما بالشكل (41).



الشكل (41) الأوتاد الإزاحـية اللولبية

3-7 تصنيف الأوتاد Piles Classification

يمكن تصنيف الأوتاد بعدة طرق، حيث يمكن تُصنف طبقاً للمادة المصنعة إلى أوتاد خشبية ومعدنية وخرسانية أو عن طريق أسلوب التركيب والتي فيها يتم تصنيف الأوتاد بناءً على تأثير الوتد على التربة أثناء التركيب، حيث تُقسم الأوتاد إلى نوعين رئيسيين، فالنوع الأول يسمى بالأوتاد الإزاحية بينما النوع الثاني يسمى بالأوتاد الغير إزاحية.

1-3-7 الأوتاد الإزاحية (Displacement piles)

من المألوف الحديث عن الأوتاد المدقوقة في الأرض والتي تُعرف بالأوتاد الإزاحية، وتُقسم هذه الأوتاد بناءً على الطريقة الفعلية للتركيب، والتي يمكن أن تكون بالطرق أو عن طريق الاهتزاز أو بالضغط أو بالتحميل أو عن طريق اللف، حيث أنه يتم إزاحة حجم التربة المساوي لحجم الوتد إلى الأسفل والجوانب لإسكان الوتد مكانها، واختيار طريقة التركيب يتم تحديدها حسب نوع الوتد وحالة الأرض وظروف كل حالة.

وتقوم هذه الأوتاد بنقل معظم أحمالها عن طريق الاحتكاك السطحي لسطح الوتد مع التربة، لذلك فإنها تسمى بأوتاد الاحتكاك (Friction Piles) وتضم الأوتاد الإزاحية الأنواع التالية:

أ- أوتاد بالطرق (Driven Piles).

ب- أوتاد لولبية (Screw or Auger Piles)، كما بالشكل (41).

ج- أوتاد بالضغط (Jacked Piles).

2-3-7 الأوتاد الغير إزاحية Non Displacement piles

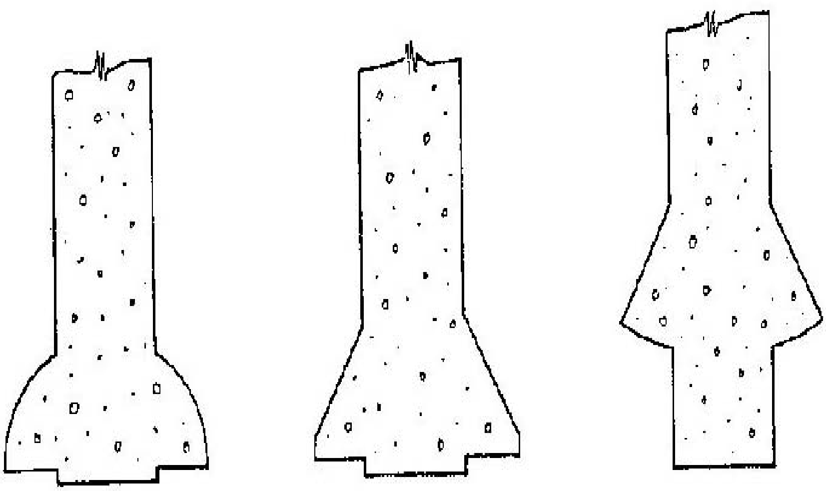
يتم تنفيذ هذه الأوتاد عن طريق الحفر، وذلك بإزالة حجم معين من التربة ليحل

محلها الوتد ليتم بعدها صب الخرسانة، وفي هذا النوع من الأوتاد يتم نقل معظم الأحمال عن طريق قاعدة الوتد، لذلك تُدعى بالأوتاد القاعدية (**End Bearing Piles**). ويمكن تقسيم هذا الصنف من الأوتاد إلى نوعين:

1- عمل حفرة في الأرض بالطريقة المناسبة لنوع التربة للوصول إلى العمق المحدد للتأسيس، تم صب الخرسانة بالحفرة ليتم بعدها سحب الغلاف ليحدث التلامس بين سطح الوتد والتربة.

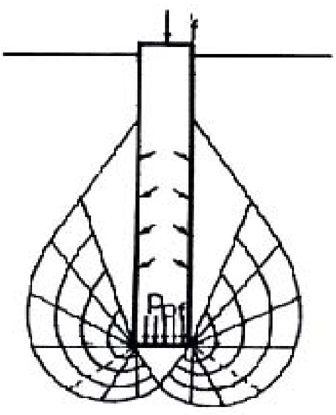
2- ضغط ماسورة مفتوحة خلال الأرض لحين وصولها إلى الطبقة المُستهدف التأسيس عليها، يتم بعدها إزالة التربة من الماسورة وصب الخرسانة بها.

وهناك الأوتاد الغير إزاحية ذات القواعد المكبرة لزيادة مساحة قاعدة الوتد، كما بالشكل (42)، وبالتالي زيادة قدرة التحميل القاعدي .

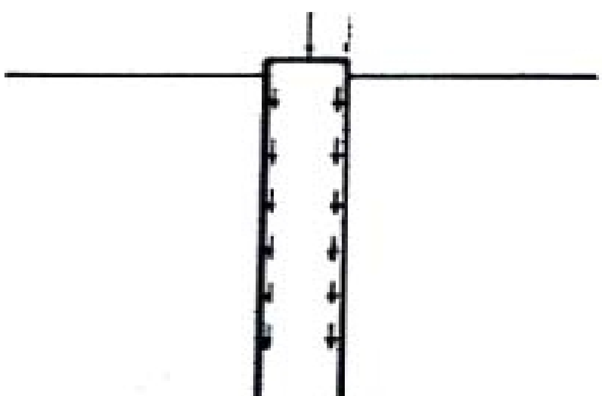


الشكل (42) أوتاد غبر إزاحية ذات قواعد مُكبرة

وقد قام العديد من البُحاث والعلماء بوضع افتراضات توضح نمط الهبوط أسفل الأوتاد، كما بالشكلين (43) و(44).



الشكل (43) نمط الهبوط المُفترض أسفل الأوتاد طبقاً لمايرهوف



الشكل (44) نمط الهبوط المُفترض أسفل الأوتاد طبقاً لترزاكي

4-7 سعة الوتد Pile Capacity

قدرة تحميل الوتد يُنقل جزء منها عن طريق قاعدة الوتد (**point resistance**)، في حين يتم نقل الجزء الأخر عن طريق سطحه (**shaft resistance**).

$$Q = Qp + Qs$$

حيث أن:

Q = سعة الوتد

Qp = مقاومة قاعدة الوتد

Qs = مقاومة سطح الوتد

$$Qp = Ap\ (\Delta qs)u$$
$$= Ap\ (C \,.\, Nc + \gamma\ B/2 \,.\, N\gamma + \gamma d \,.\, Nq\ )$$
$$Qs = (\Delta l) \,.\, (as) \,.\, (ss)$$

Ap = مساحة قاعدة الوتد.

$(\Delta qs)u$ = قدرة التحميل القصوى.

Δl = طول الوتد المغمور في التربة.

As = مساحة سطح الوتد لطول Δl الملامس للتربة.

Ss = وحدة المقاومة السطحية.

Nc ، Nγ ، Nq معاملات سعة التحميل، وتعتمد على مقدار زاوية الاحتكاك.

المراجع

1- C. Wayne, Teng, "Foundation Design", Prentice-Hall, Inc. 1962.

2- E. Sellgren,"Friction Piles in Non-Cohesive Soils," Department of Geotechnical Engineering, Goteborg, 1981.

3- J. E. Bowles,"Foundation Analysis and Design", 5th ed., McGraw-Hill, Inc., 1996.

4- R. Barry,"The Construction of Buildings", 2nd ed. Crosby Lockwood Staples, London, 1971.

5- R. B. Peck, W. F. Hanson, and T. H. Thornburn, "Foundation Engineering", 2nd ed., Jhon Wiley and Sones, Inc., 1974.

6- T. W. Lambe, R. V. Whitman, "Soil Mechanics, SI Version, Jhon Wiley and Sones, 1979.

7- T. Whitaker, "The Design of Piled Foundations", 1st ed., Library of Congress Catalog Card No. 70-99995, 1970.

8- «القواعد والأساسات»، ن. تسيتوفيج، منشورات دار مير للطباعة والنشر، موسكو- الاتحاد السوفيتي.

9- «الأساسات»، أ. م. الشافعي، منشورات دار الراتب الجامعية، بيروت-لبنان، 1985.